



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Posibilidades de la Realidad Virtual para la prevención de riesgos laborales en el sector de la construcción

Treball realitzat per:

Arnau Rigol Carrasco

Dirigit per:

Javier Mora

Ignacio Valero

Grau en:

Enginyeria d'Obres Publiques

Barcelona, gener de 2017

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE GRAU

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a mis tutores Dr. Javier Mora e Ignacio Valero, por su paciencia, dedicación, criterio y motivación ofrecida durante todo el desarrollo del trabajo.

Me han ofreciendo la oportunidad de aprender sobre una materia en la que siempre había tenido interés, como es la Realidad Virtual, brindado la posibilidad de descubrir nuevas posibilidades y herramientas complementarias con los estudios realizados.

También agradecer a CIMNE, por la posibilidad de realizar mi proyecto en su departamento, y al Centro de Realidad Virtual de Barcelona por la visita y demostración en sus instalaciones.

También agradecer a Soraya, ya que hemos realizado trabajos que seguían una misma línea, pero con diferentes casos de uso, nos hemos podido apoyar y ofreciendo diferentes puntos de vista ya que en muchos casos era un área que no habíamos estudiado.

Por ultimo quiero agradecer especialmente a mis padres, por la paciencia y apoyo incondicional recibido a lo largo de los estudios universitarios.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO DEL PROYECTO Y MOTIVACIÓN	3
1.1. Necesidad Inicial.....	3
1.2. Contexto y motivación	3
1.2.1. CIMNE.....	3
1.2.2. ETSECCPB.....	4
1.2.3. Interés personal	4
1.3. Objetivo.....	4
CAPÍTULO 2. PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN	5
2.1. Introducción	5
2.2. Evolución de la Prevención de riesgos en España.....	5
2.3. Legislación	6
2.3.1. Plan de Seguridad y Salud	7
2.4. Formación en prevención de riesgos laborales.....	7
2.4.1. Situación actual	7
2.4.2. Enseñamiento pasivo y activo	8
2.5. Herramientas para mejorar el estado actual en prevención de riesgos	8
CAPÍTULO 3. BIM	10
3.1. Introducción	10
3.2. Definición	10
3.3. Ventajas de BIM	10
3.4. Situación actual	11
3.5. BIM y la seguridad y salud.....	12
3.6. Relación entre BIM y la Realidad Virtual.....	13
3.6.1. Aplicaciones en el sector de la construcción.....	13
CAPÍTULO 4. REALIDAD VIRTUAL.....	15
4.1. Introducción	15
4.2. Definición	15
4.2.1. Proyecciones estereoscópicas.....	15
4.2.2. Sensores	16
4.2.3. Dispositivos de entrada y salida	17
4.2.4. Plataformas computacionales.....	17
4.3. Estado de la técnica.....	18
4.3.1. Hardware.....	18
4.3.2. Software	21

CAPÍTULO 5. REALIDAD VIRTUAL PARA LA FORMACIÓN	22
5.1. Introducción	22
5.2. Proceso de aprendizaje	22
5.3. Aplicaciones de Realidad Virtual para el aprendizaje	23
CAPÍTULO 6. DESARROLLO DE APLICACIONES EN REALIDAD VIRTUAL.....	25
6.1. Introducción	25
6.2. Herramientas utilizadas para la creación de aplicaciones en Realidad Virtual.....	25
6.2.1. Definiciones de los programas utilizados.....	26
6.2.2. Equipo utilizado.....	26
6.2.3. Dispositivos de entrada y salida utilizados.....	26
CAPÍTULO 7. COMPATIBILIDAD DE REALIDAD VIRTUAL CON LA METODOLOGÍA BIM	28
7.1. Introducción	28
7.2. Compatibilidad de formatos	28
7.3. Importar el modelo a <i>Unity</i>	29
7.4. Movimiento en primera persona	31
7.5. Inputs del usuario.....	32
7.6. Posibilidades de <i>Unity</i>	33
7.6.1. Facilitar interacción.....	33
7.6.2. Seleccionar diferentes capas.....	34
7.6.3. Seleccionar planta	35
7.6.4. Activar riesgos	36
7.7. Introducción de alertas	37
7.8. Iluminación.....	38
7.9. Adaptar la aplicación a Realidad Virtual	41
7.10. Resultados	41
CAPÍTULO 8. APLICACIÓN PARA LA FORMACIÓN EN PREVENCIÓN DE RIESGOS	43
8.1. Planteamiento	43
8.1.1 Descripción del caso práctico.....	43
8.2. Fases del trabajo	45
8.2.1. Creación del modelo	45
8.2.2. Importación a <i>Unity</i>	46
8.2.3. Adaptar a Realidad Virtual	48
8.3. Recorrido a seguir por el usuario	49
8.4. Construcción de la aplicación.....	57
8.5. Resultados	58

CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	60
9.1. Conclusiones.....	60
9.2. Futuras líneas de investigación	61
BIBLIOGRAFIA	62
FIGURAS	65
ANEXOS	67
ANEXO I. Herramientas y características de <i>Unity</i> utilizadas.....	68
ANEXO II. Recrear un movimiento en primera persona en <i>Unity</i>	77
ANEXO III. Configuración controlador Xbox en <i>Unity</i>	80
ANEXO IV. Detalles técnicos del ordenador utilizado	83
ANEXO V. Código utilizado en <i>Unity</i>	85

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de fin de grado se ha realizado en el *Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Eninyeria (CIMNE)* en colaboración con la *Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (ETSECCPB)* con el objetivo de estudiar y explorar las posibilidades de la Realidad Virtual en el sector de la construcción. Concretamente en cómo puede ayudar a mejorar la seguridad en las obras.

La seguridad en la construcción ha sido un aspecto donde se han dedicado muchos recursos desde la aparición de la Ley de seguridad en el trabajo en el año 1995. Esto se ha traducido en una reducción muy importante del número de accidentes para el sector. No obstante, durante los últimos años esta tendencia ha empezado a invertirse, incrementando la cantidad de accidentes cada año. Entre las herramientas o métodos que pueden mejorar la seguridad se encuentra la Realidad Virtual.

Durante los últimos años las aplicaciones de Realidad Virtual son cada vez más frecuentes en diferentes áreas como el entretenimiento, la medicina o la educación; permitiendo una inmersión en entornos virtuales. En el sector de la construcción, mediante la metodología BIM, hay una tendencia de ir digitalizando todos los elementos de un proyecto. La Realidad Virtual podría incorporarse dentro de los modelos generados, proporcionando una experiencia más real. Por otro lado, debido a sus características de poder recrear cualquier entorno y situación, está siendo usada en la formación de trabajadores.

Este trabajo busca explorar que posibilidades puede aportar la Realidad Virtual para mejorar la seguridad en la construcción. Para conseguirlo se ha realizado una revisión del estado actual de la seguridad en la construcción, la metodología BIM y el estado de la técnica de la Realidad Virtual; y comprobando el proceso de creación de sus aplicaciones. Se han estudiado dos posibles usos: una primera aproximación a la compatibilidad de la Realidad Virtual con la metodología BIM y la creación de una aplicación destinada a la formación en seguridad.

El trabajo tiene la siguiente estructura:

Capítulo 1. Descripción de la necesidad inicial, motivaciones e intereses que llevan al desarrollo del TFG.

Capítulo 2. Revisión de la situación actual de la prevención de riesgos, marco legislativo y formación de trabajadores. Explorar las posibilidades de la Realidad Virtual en la formación.

Capítulo 3. Situación actual de la metodología BIM en la construcción. Mejoras en prevención de riesgos que aporta. Compatibilidad con la Realidad Virtual.

Capítulo 4. Definición de la Realidad Virtual y su estado actual. Revisión de tecnologías existentes. Herramientas necesarias para crear un ambiente de Realidad Virtual para el ámbito de la construcción.

Capítulo 5. Revisión de precedentes de la Realidad Virtual en la formación.

Capítulo 6. Herramientas utilizadas para la creación de aplicaciones en Realidad Virtual.

Capítulo 7. Exploración de la adaptación de un modelo BIM a la Realidad Virtual. Incorporar la vista en primera persona. Explorar las herramientas que ofrece el programa.

Capítulo 8. Creación de la aplicación para la formación en Realidad Virtual.

Capítulo 9. Conclusiones del trabajo realizado destacando el aprendizaje, los progresos y los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1. MARCO DEL PROYECTO Y MOTIVACIÓN

1.1. Necesidad Inicial

En los últimos decenios se ha avanzado mucho en la seguridad y salud en el trabajo, tanto desde el punto de vista legislativo como operativo, pero aún constituye un ámbito con mucho recorrido al tratarse de un ámbito de implantación relativamente reciente. Según la Organización Internacional del Trabajo, *“Cada día mueren 6.300 personas a causa de accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo – más de 2,3 millones de muertes por año. Anualmente ocurren más de 317 millones de accidentes en el trabajo, muchos de estos accidentes resultan en absentismo laboral. El coste de esta adversidad diaria es enorme y la carga económica de las malas prácticas de seguridad y salud se estima en un 4 por ciento del Producto Interior Bruto global de cada año.”* [1]

Esta situación es especialmente delicada en el sector de la construcción ya que tiene un escenario de trabajo fuertemente cambiante. También incluye muchas actividades de riesgo, ya sea por tratar con maquinaria pesada, moverse por espacios precarios o utilizar materiales y herramientas que requieren adoptar una importante batería de precauciones. Es por ello que Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo del Ministerio de Empleo y Seguridad Social ha creado un grupo de trabajo sobre el sector para el análisis y seguimiento de la aplicación de la normativa de prevención de riesgos laborales al sector de la Construcción, y que facilita regularmente estudios e informes sobre el tema [2].

El reciente impulso que están adquiriendo las tecnologías de Realidad Virtual muestra un gran potencial para todas aquellas acciones formativas y de prevención sobre actividades peligrosas, en particular, mediante la creación de un modelo en Realidad Virtual donde se simulen posibles situaciones de riesgos laborales en la construcción [3] [4], como podría ser, por ejemplo, el traslado de objetos aparatosos sobre escaleras precarias. Así la Realidad Virtual permite entrenar a los trabajadores para evitar malas prácticas y accidentes en entornos seguros.

Además, con la progresiva implementación de la metodología BIM en el sector de la construcción, existe una importancia renovada en la digitalización de todos los aspectos correspondientes a la obra. Esto proporciona modelos virtuales conforme el proyecto se va ejecutando. En este aspecto la Realidad Virtual con su capacidad de inmersión dentro de entornos virtuales, puede proporcionar diferentes usos como, por ejemplo, simular visitas de obra virtuales durante las diferentes etapas de la construcción, anticipando determinadas situaciones y tipos de riesgos en la obra.

1.2. Contexto y motivación

1.2.1. CIMNE

Las siglas CIMNE corresponden a *Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria*¹. CIMNE es un centro de investigación público, consorcio entre la Universidad Politècnica de Catalunya y la Generalitat de Catalunya. Tiene como objetivo principal el desarrollo, la divulgación y la transferencia al sector productivo de métodos numéricos novedosos e innovadores.

¹ <http://www.cimne.com/>

CIMNE se basa en la generación de conocimiento original a través de la investigación. Debido a ello todo el trabajo que se ha realizado sirve para ampliar la base de conocimiento de CIMNE.

Las disciplinas que forman parte del núcleo de la actividad de CIMNE, las simulaciones por ordenador y los métodos numéricos en sentido amplio, requieren de avances en computación de altas prestaciones (HPC), últimas tecnologías de visualización, procesamiento de grandes cantidades de datos, interfaces de usuario amigables y precisas, entre otros; componentes todos ellos que también forman parte de los sistemas modernos de Realidad Virtual y aumentada.

1.2.2. ETSECCPB

La metodología BIM y la digitalización en un sentido amplio que conlleva, es la base del futuro del sector AEC (*Architecture, Engineering and Construction*), el cual representa el núcleo del conocimiento de la ETSECCPB². Este trabajo pretende explorar como las nuevas tecnologías, y en concreto la Realidad Virtual, puede incorporarse en el sector de la obra pública y de la construcción en general.

1.2.3. Interés personal

A nivel personal siempre he tenido interés por la informática y las nuevas tecnologías. Realizar el trabajo con un tema relacionado en la Realidad Virtual, me permitía aumentar mi conocimiento en el tema y de manera relacionada a la materia cursada durante los estudios. Otro aspecto que tuve en cuenta es que era necesario un conocimiento mínimo en programación. De modo que tenía la oportunidad de incrementar mi conocimiento y aplicarlo en casos prácticos. En un mundo donde cada vez se irán informatizando más todos los ámbitos, siempre es útil tener una base en programación.

1.3. Objetivo

El objetivo de este TFG es explorar de forma teórica y práctica las posibilidades de la Realidad Virtual en el mundo de la construcción y especialmente en la mejora de la seguridad en las obras.

Para ello se han explorado dos casos principales:

1. Compatibilidad de la Realidad Virtual en el ecosistema BIM y qué puede aportar para mejorar la seguridad.
2. Creación de un escenario virtual para la formación en prevención de riesgos en el sector de la construcción.

Para conseguirlo se han seguido las siguientes fases:

Fase 1: Repaso del estado actual de la seguridad en la construcción, la metodología BIM y el estado de la técnica de la Realidad Virtual. También ver que posibles usos puede tener la Realidad Virtual en el mundo de la construcción. (*capítulos 2, 3, y 4*)

Fase 2: Revisión de precedentes de la Realidad Virtual en la formación y análisis de las herramientas necesarias para el desarrollo de aplicaciones de Realidad Virtual. (*capítulos 5 y 6*)

Fase 3: Comprobar la compatibilidad entre la Realidad Virtual y la metodología BIM. (*capítulo 7*)

Fase 4. Creación de un entorno virtual dedicado a la formación. (*capítulo 8*)

² <https://camins.upc.edu/ca>

CAPÍTULO 2. PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN

2.1. Introducción

Entendemos cómo prevención de riesgos laborales *“el conjunto de actividades, medidas adaptadas o previstas en todas las fases de actividad de la empresa con el fin de evitar o disminuir las posibilidades de que los trabajadores sufran daños derivados del trabajo, ya sean estos accidentes, enfermedades, patologías o lesiones.”* [5]

La prevención de riesgos es especialmente importante en el sector de la construcción. Debido al propio espacio de trabajo característico en las obras de construcción, un lugar de cambio permanente, tanto de las condiciones de trabajo como de sus riesgos asociados, lo que supone un entorno de elevado riesgo intrínseco. Por este motivo desde la aprobación de la Ley 31/1995, de prevención de riesgos laborales, se han realizado muchas medidas con el objetivo de reducir el número de accidentes.

2.2. Evolución de la Prevención de riesgos en España

El sector de la construcción ha sido durante las últimas décadas el sector con más índice de accidentalidad, es decir, el número de accidentes producidos por cada 100.000 trabajadores afiliados. Los trabajos en construcción están asociados a muchos riesgos que pueden ocasionar un accidente mortal o un perjuicio para la salud. Esto es debido al propio espacio de trabajo característico de las obras, donde tanto las condiciones de trabajo como en sus riesgos asociados cambian continuamente. También la naturaleza de algunos trabajos a realizar supone un alto riesgo si no se cumplen las normas de seguridad.

Por este motivo es un sector dado muchos esfuerzos tanto económicos como profesionales para mejorar las condiciones.

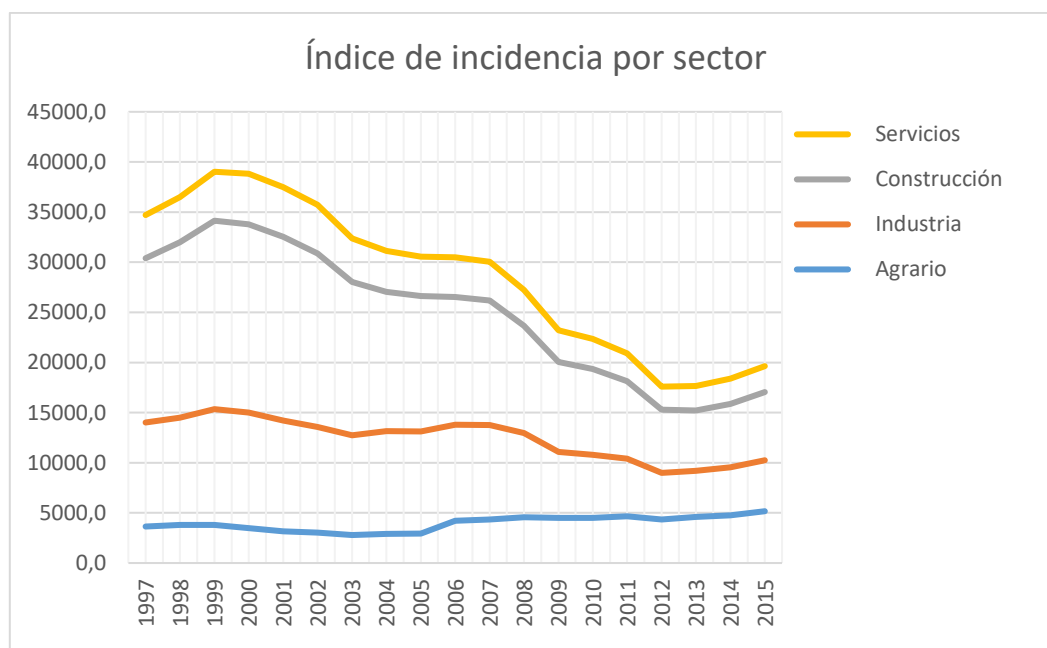


Fig. 1 Evolución del índice de accidentalidad desde el año 1997 al 2015, por sectores³

³ <http://www.empleo.gob.es/Estadisticas/EAT/Welcome.htm>

En 1995 se implementó la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, reforzada posteriormente en 1997 con la aprobación de una gran cantidad de normas técnicas de gran influencia en el sector. Como se puede ver en el gráfico estas normativas tardaron un tiempo en implementarse correctamente y fue a partir de 1999 donde se puede ver un progresivo descenso del índice de accidentalidad. Desde entonces se han ido realizando diferentes reformas normativas para concretar diferentes aspectos.

En 2006 se implementó la ley que regula la subcontratación en la construcción, acabando de desarrollarse en 2007. En el gráfico puede verse un incremento del descenso de accidentes, aunque también está influenciado por la crisis económica que atravesó España, reduciendo la cantidad de trabajadores desde 2007 hasta 2013 a la mitad.

No obstante, podemos ver un cambio de tendencia desde 2013 donde el descenso del índice de incidencias no solo se estanca, sino que tiene una tendencia ascendente.

Esto puede ser debido al modelo basado en la normativa del cumplimiento del papel y la sanción, puede estar llegando a un punto de saturación. Pese a que este ha ayudado de forma muy importante a reducir la cantidad de accidentes, para seguir avanzando pueden ser necesarios otros métodos.

También hay una falta de penetración en los modelos basados en la cultura preventiva en positivo que potencien los beneficios de una gestión integrada de la seguridad y salud laboral.

2.3. Legislación

El marco legal en el que se ampara la prevención de riesgos laborales es la Ley 31/1995. Después de la publicación de esta, se ha producido un amplio desarrollo normativo tanto reglamentario que han supuesto la aparición de una gran cantidad de requisitos legales y técnicos en el ámbito de la prevención.

En el sector de la construcción cabe destacar el Real Decreto 1627/1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. Posteriormente han aparecido otros textos legales como la Ley 32/2006, que regula la subcontratación en el Sector de la construcción que ha dado un nuevo impulso a la necesidad de gestionar e integrar la prevención de riesgos laborales.

En el año 2012 entra en vigor el V Convenio Colectivo General del Sector de la Construcción que establece las disposiciones relativas a la información y formación en la materia de seguridad y salud. Este hecho ha supuesto un cambio significativo en la gestión de la prevención de riesgos laborales en el sector, concretamente en la gestión de la formación, con la aparición de la tarjeta profesional de la construcción como herramienta de acreditación de la formación en el sector. También se establecen unas disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a la construcción, estableciéndose requisitos de obligado cumplimiento en relación con las condiciones generales de ejecución de la obra, andamios, protecciones colectivas, escaleras, etc.

Pese al amplio desarrollo legal realizado por las diferentes administraciones, la legislación en prevención de riesgos laborales es muy poco concisa en algunos aspectos, por lo que su interpretación ha supuesto la definición de diferentes criterios técnicos publicados por organismos como por ejemplo, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) (mediante la publicación de diferentes guías técnicas) y la Inspección de Trabajo y Seguridad Social (ITSS) (con el desarrollo de criterios técnicos usados por el cuerpo de Inspectores de Trabajo y Seguridad Social)

En obra civil, los requisitos anteriores deben aplicarse tanto durante la fase de proyecto con el estudio de seguridad y salud, como durante la construcción de la obra donde el contratista ha de elaborar el Plan de Seguridad y Salud.

2.3.1. Plan de Seguridad y Salud

Es el documento que en construcción contiene la evaluación de riesgos y la planificación de la actividad preventiva, es esencial para la gestión y aplicación del plan de prevención de riesgos laborales. El plan de seguridad y salud analiza, estudia, desarrolla y complementa las previsiones contenidas en el estudio o estudio básico, en función de su propio sistema de ejecución de la obra. En dicho plan se debe incluir, en su caso, las propuestas de medidas alternativas de prevención que el contratista proponga con la correspondiente justificación técnica, que no podrán implicar disminución de los niveles de protección previstos en el estudio o estudio básico. El plan de seguridad y salud tiene que permanecer permanentemente en la obra a disposición de los diferentes agentes que intervengan en su ejecución, así como de aquellos órganos con responsabilidad en la materia y de los representantes de los trabajadores. El Técnico Competente de la empresa contratista que lo redacte debe disponer de una serie de documentos imprescindibles:

- Proyecto,
- Estudio o Estudio Básico de seguridad y salud (en obras de construcción se atenderá a lo indicado en los artículos 5 y 6 del RD 1627/1997).
- Plan de prevención del contratista y de sus subcontratistas,
- Procedimientos de ejecución de todas las actividades del contratista y de sus subcontratistas (lo cual se consultará con el jefe de obra o encargado del contratista principalmente).
- Condiciones propias de la obra.

2.4. Formación en prevención de riesgos laborales

La Realidad Virtual supone un gran potencial en la formación, debido a su facilidad en recrear situaciones similares a la realidad, pero sin experimentar un peligro real. Actualmente en el sector de la construcción hay una formación mínima obligatoria por ley. La Realidad Virtual podría ayudar a mejorar la formación actual o complementarla.

2.4.1. Situación actual

Actualmente la formación en prevención de riesgos laborales en la construcción, se centra en seguir la Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995, que exige a todas las empresas que sus trabajadores cursen una instrucción genérica en PRL. Esta formación debe ser en función del puesto de trabajo al que se accede.

Primero consta de un nivel inicial llamado aula permanente, con un curso de 8 horas. Debe ser impartido por un técnico superior en PLR.

Además, según el BOE jueves 12 de noviembre de 2009 nº273, las empresas dentro del Convenio de la Construcción, además de este aprendizaje inicial de 8 horas llamado Aula Permanente, tendrán que impartir una formación genérica acorde al convenio de 14 horas más la instrucción específica del trabajador de 6 horas, 20 horas en total.

Formación genérica en PRL 14 horas: [6]

- Técnicas preventivas: Medios de protección colectiva. Equipos de protección individual o EPIs, señalización. Primeros auxilios.
- Medios auxiliares, equipos y herramientas empleados habitualmente en las obras de construcción.
- Verificación, identificación y vigilancia del lugar del trabajo y su entorno: Riesgos generales en las obras de construcción. Conocimiento del entorno del lugar de trabajo. Planificación de las tareas desde un punto de vista preventivo. Manipulación de productos químicos. Ficha de datos de seguridad. Simbología.
- Aplicación del Plan de Seguridad y Salud en la tarea concreta. Evaluación de Riesgos en el caso de que no exista Plan. Interferencia entre actividades: Actividades simultáneas o sucesivas. Tránsito por la obra (zanjas, desniveles).
- Derechos y obligaciones: Marco normativo general y específico. Organización de la prevención de riesgos laborales. Participación, información, consulta y propuestas.

Los cursos por oficio serán sobre los riesgos específicos de cada especialización, como puede ser albañilería, carpintería metálica o montaje de estructuras tubulares.

Para el puesto de trabajo de Recurso Preventivo, se debe realizar un curso llamado Nivel Básico en Prevención de Riesgos Laborales, el cual consta de 60 horas y convalidan la parte genérica de 14 horas de la formación específica por puesto. El recurso preventivo es imprescindible en todas las obras de construcción, y se encarga de vigilar que todas las medidas de seguridad están correctamente instaladas. El Nivel Básico en Prevención de Riesgos Laborales tiene una parte de la formación práctica a diferencia de la formación genérica.

2.4.2. Enseñamiento pasivo y activo

A excepción del recurso preventivo, la formación obligatoria se basa en un enseñamiento pasivo. Se educa mediante contenidos teóricos, también visualizando imágenes o videos. Este tipo de enseñamiento no se interioriza mucho y es más fácil de olvidarse. El enseñamiento pasivo es adecuado para entrar en materia y formar una base, pero para interiorizar correctamente el conocimiento se necesita una parte práctica. Actualmente esta experiencia se tiene que aprender directamente trabajando en obra. Esto supone puede suponer que trabajadores se exponen a diferentes riesgos que no han experimentado previamente, y puede que se hayan olvidado o no sepan cómo trasladar el conocimiento aprendido.

Las personas tienden a recordar mejor lo aprendido en función de su implicación en el aprendizaje [7], por lo tanto, una simulación de una situación de riesgo se interioriza mucho mejor que una explicación teórica. Actualmente existen cursos formativos de PRL prácticos donde se hacen simulaciones ya sea directamente en persona [8] o de forma virtual mediante programas informáticos [9]. Estos cursos no son obligatorios y su aplicación dependen de la opinión de la empresa.

2.5. Herramientas para mejorar el estado actual en prevención de riesgos

La metodología BIM podría tener un papel importante para ayudar a mejorar la seguridad en el sector de la construcción. La gestión y generación unificada de todos los datos necesarios para

la construcción de una obra, puede ayudar a unificar y gestionar mejor las medidas de seguridad en una obra.

La digitalización de la información que comporta la metodología BIM, puede dar entrada a otras nuevas tecnologías como pueden ser la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada. Concretamente este trabajo estudia las posibilidades que podría ofrecer la Realidad Virtual para la mejora de la seguridad en la construcción. La capacidad de inmersión que ofrece la Realidad Virtual, puede ayudar a visualizar la obra de forma virtual permitiendo visualizar los posibles riesgos. Esto puede ayudar a informar los trabajadores de los riesgos presentes o mejorar el diseño de las medidas de prevención.

Otro aspecto importante es el de la formación. Con la Realidad Virtual se podrían hacer los cursos con una inmersión muy similar a una simulación real. La Realidad Virtual ayuda a reproducir sensaciones de estrés, angustia, vértigo o velocidad. Con estas características se pueden recrear muchas situaciones diferentes de obra, experimentando sensaciones muy similares a la realidad, pero sin estar en peligro.

CAPÍTULO 3. BIM

3.1. Introducción

Durante los últimos años la metodología BIM ha ido implementándose en el sector de la construcción. Pese a que este sector suele ser conservativo y es reticente a los cambios, las ventajas que ofrece BIM si se implementa correctamente hacen que al final el coste y tiempo de ejecución. Por este motivo lo más coherente es que se consolide en el sector. Con la implementación de BIM, también puede entrar la Realidad Virtual, ya que trabajar en BIM comporta tener un modelo 3D a escala y realista de la obra. Con herramientas de Realidad Virtual podemos realizar visitas virtuales dentro de los modelos, así verlos a escala real y poder interactuar con ellos.

3.2. Definición

BIM es un acrónimo de *Building Information Modeling*, y se define cómo el proceso de generación y gestión de datos de un proyecto constructivo durante toda la vida útil de la estructura. Utiliza un software dinámico en tres dimensiones y tiempo real. De este modo se optimizan los recursos y disminuye la pérdida de tiempo en las fases de diseño y la construcción. [10]

En el año 1984, la empresa húngara *Graphisoft* fue pionera en la aplicación del concepto BIM con la aplicación *Virtual Building* en su programa *ArchiCAD*, al ser el primer software capaz de crear tanto dibujos 2D como 3D.

En el 2002, la firma Autodesk comenzó a utilizar el concepto BIM cuando compró la compañía *Revit Technology Corporation*. Aunque fue Jerry Laiserin quien popularizó el termino para a representación digital de procesos de construcción.

Actualmente son diversos los proveedores que ofrecen la tecnología como: *Tekla*, *Nemetschek*, *Sigma Design*, *Autodesk*, *StruCad* de *AceCad Software*, *Bentley Systems*, *Graphisoft*, *ACCA software*, *sds/2*, por *Design Data* (líder en ingeniería de detalle), *CAD Details*, *Dlubal Software*, entre otros. [10]

3.3. Ventajas de BIM

El diseño en 2D actual, se basa en pasar la información del equipo de diseño al equipo de construcción, creando nuevos planos a cada fase. BIM permite crear rápidamente diferentes escenarios y transmitirlos fácilmente manteniendo un solo modelo.

BIM almacena toda la información necesaria para realizar un proyecto en una misma base de datos. Esto permite que cambiando el proyecto en un punto se actualiza automáticamente en todo su conjunto. Al tener toda la información conjunta y actualizada durante todo el curso del proyecto, es más sencillo manejar la información con más precisión e integrar todas las fases del proyecto durante su diseño. Todo esto se traduce en mejores especificaciones, estimaciones, programaciones y conformidad, además de poder producir modelos 3D y simular construcciones. Al modelizar en 3D, los planos en 2D son correlativos además de poder hacer planos de cualquier fase del proyecto. Este conjunto de ventajas permite reducir errores y localizarlos antes.

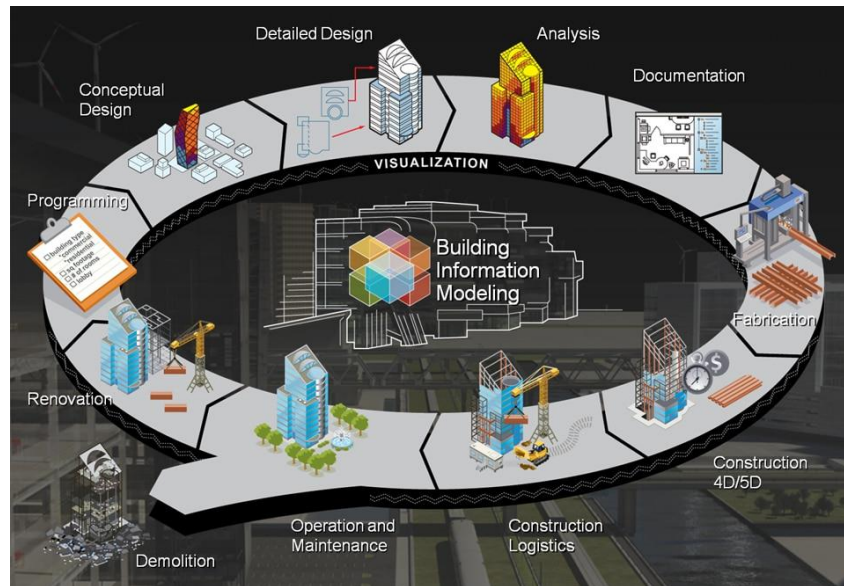


Fig. 2 Ciclo de vida en BIM

BIM modifica el sistema de trabajo actual, al tener una carga de trabajo mayor en la fase de diseño del proyecto. Pero se ve compensada con una mayor facilidad en el momento de la construcción y una disminución de los errores. También facilita la interacción entre los agentes que participan durante el proyecto, al compartir contenidos específicos de cada especialidad en un mismo modelo. [11] [12]

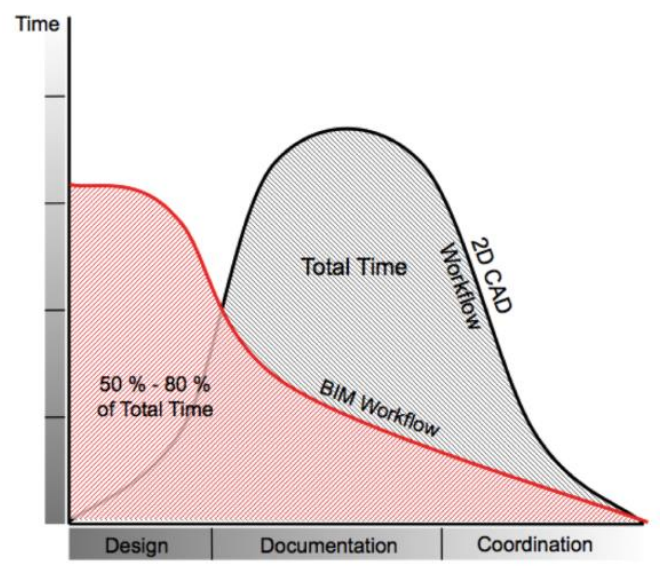


Fig. 3 Diferencia en el flujo de trabajo entre BIM y 2D CAD (Fuente: Graphisoft)

3.4. Situación actual

A nivel internacional la utilización de BIM es diversa. EEUU, los países nórdicos y Reino Unido y Australia son los más avanzados. Por ejemplo, el Reino Unido estableció que a partir de 2016 la obligatoriedad que la obra pública se desarrolle en entorno BIM. Otros países como China, Emiratos Árabes Unidos y países de Sudamérica como Brasil y Argentina están en plena expansión. [13]

A nivel europeo, la directiva 2014/24/UE sobre la contratación pública establece la necesidad de emplear sistemas electrónicos (medios de comunicación y herramientas para modelar los datos del edificio) en procesos de contratación de obras, servicios y suministros a partir de septiembre de 2018, es decir, incorporar en el sector de la construcción la metodología BIM. [14]

En 2015, el *BIM European Summit* de Barcelona estableció el siguiente plan de trabajo [15]:

- *Objetivo 2015-2016: Consensuar un mandato BIM en Cataluña.*
- *Objetivo 2017: Adopción de estándares IFC, guías, clasificaciones y procesos de entrega del modelo digital pensando en cada fase del proyecto constructivo, de su ejecución, del mantenimiento posterior y de su integración en la ciudad. Definición de unos protocolos comunes para la creación y definición de la información compartida entre los agentes orientados a la plena interoperabilidad entre las partes*
- *Objetivo 2018:*
 - a. *Los equipamientos y las infraestructuras públicas de presupuesto superior a 2 M€ deberán producirse en BIM en las fases de Diseño y Construcción.*
 - b. *Circunscribir este objetivo en proyectos de obra nueva.*
- *Objetivo 2020:*
 - a. *Todos los equipamientos y las infraestructuras públicas deberán producirse en BIM en todas las fases: diseño – construcción – mantenimiento.*
 - b. *Circunscribir este objetivo a todos los proyectos de obra nueva y rehabilitación.*

Como consecuencia a nivel público se han constituido dos comisiones transversales: *Construïm el Futur* [16] [17] en Cataluña y la *Comisión BIM* en el Estado español [18].

También algunas administraciones han puesto en marcha proyectos BIM en Proyectos de edificación.

En España nos encontramos en la cola de esta evolución BIM, quizás por la situación que ha pasado el país en los últimos años, afectando negativamente al sector de la construcción. La nueva directiva europea comentada anteriormente nos fuerza a avanzar y seguir evolucionando entorno al BIM. Por lo tanto, es un sector que espera grandes modificaciones en favor de esta tecnología en los próximos años.

3.5. BIM y la seguridad y salud

BIM permite una automatización de la implementación de las medidas de seguridad desde la fase de proyecto. Algunas ventajas que puede proporcionar son: [19]

- BIM facilita la prefabricación. Moverse a un espacio controlado, reduce el riesgo de accidentes.
- Permite realizar un análisis de los riesgos mediante diferentes programas informáticos para escanear los modelos BIM rápidamente buscando zonas problemáticas y coordinar las medidas de prevención necesarias.
- Coordinación en el lugar de construcción. Un secuenciado avanzado de la construcción y un análisis dimensional, permiten a las constructoras una mejor gestión de la logística y la distribución de los elementos.

- Permiten una mejor coordinación de la seguridad en el día a día. El coordinador de seguridad puede acceder al modelo BIM en el lugar de trabajo, ayudando a mejorar las inspecciones y validar que las medidas de seguridad están correctamente.

Además, puede utilizarse para visualizar las zonas de riesgo o áreas de seguridad de máquinas tales como el área de barrido de una grúa o las zonas de peligro, por ejemplo. El plano de la organización de las obras informa sobre la organización de la logística interna y externa, así como de la seguridad para todo el proyecto.

Direccionar a los peatones a través de recorridos temporales y pasos protegidos es parte del plan de seguridad de la construcción y su modelado facilita la presentación de estas soluciones al cliente.

El contenido de un modelo BIM referente a la Seguridad y Salud de la obra puede cubrir cualquier lugar y estado temporal de esta, como pueden ser:

- Área de las obras, calles adyacentes y otros alrededores inmediatos que puedan ser afectadas por la construcción.
- Las instalaciones provisionales y equipos, tales como casetas para oficina e instalaciones de almacenamiento, vallados, recorridos para circulación peatonal y maquinaria.
- Estados de obra temporales, como pueden ser las excavaciones y la reserva de espacio para almacenamiento de material.

3.6. Relación entre BIM y la Realidad Virtual

Durante los últimos años, la tecnología BIM ha experimentado una progresiva implementación y se espera que a medio plazo este totalmente establecida en el sector de la construcción, ya que reduce el tiempo y coste de la construcción. [20]

Una característica de BIM es que podemos disponer del modelo en 3D de la estructura. Esto nos permite tener una visualización realista de esta en todas las fases de la obra. La Realidad Virtual tiene un gran potencial en este ámbito. Nos permite tener una visión realista dentro del modelo ya sea realizando visitas virtuales, que nos permite una visualización realista de todos los componentes de la estructura para tener una mayor comprensión del conjunto. Esto facilita la colaboración entre todos los implicados en el proyecto siguiendo la filosofía BIM.

Otro aspecto importante es la creación de aplicaciones para poder interactuar con el modelo. De este modo podemos recrear determinadas situaciones que se producen en la obra y así saber cómo gestionarlas o evitarlas.

3.6.1. Aplicaciones en el sector de la construcción

Según la encuesta realizada a profesionales de arquitectura, ingeniería y construcción por *ARC Document Solutions, Inc.*, el 65% de los participantes dice que las aplicaciones de Realidad Virtual mejorarán el proceso de diseño antes que la construcción empiece, y un 64% creen que la Realidad Virtual será usada habitualmente en 5-10 años. [21]

Posibles aplicaciones que tendrá la Realidad Virtual en el mundo de la construcción son:

- La Realidad Virtual permite visualizar como sería la obra acabada de forma virtual. Permite experimentar cómo será el resultado final incluso antes de empezar a construir. Esto permite poder hacer cambios de diseño de forma mucho más sencilla y menos

costosa en caso necesario. Solución temprana de errores, adaptar mejor las obras a la opinión de la gente, solucionar mejor las necesidades previas.

- Puede mejorar la comunicación entre los colaboradores que participan en la obra. Poder visualizar la obra en un entorno virtual como pueda ser una CAVE, y poder intercambiar las impresiones de cada uno facilitaría la ejecución de decisiones.
- Entrenamiento de operarios y seguridad: una simulación del lugar de trabajo puede mostrar donde están los peligros y saber mejor que decisiones de seguridad tomar. Incluso puede simular el progreso de la obra diariamente y saber que peligros hay en cada momento. También puede simular diferentes situaciones de obra con el objetivo de entrenar operarios de cara a realizar operaciones más peligrosas.

CAPÍTULO 4. REALIDAD VIRTUAL

4.1. Introducción

La Realidad Virtual, ha experimentado muchos cambios los últimos años debido al avance de la tecnología de la computación. Esto ha permitido poder empezar a aplicar usos útiles. Aunque inicialmente se centraba en los videojuegos, actualmente se ha extendido en muchos campos como pueden ser la medicina, creación artística, entrenamiento militar, simulaciones de vuelo. De momento no está extendida en la ingeniería civil, pero tiene un gran potencial y una amplia posibilidad de aplicaciones. En este caso está muy ligada a la tecnología BIM y como aún no está totalmente establecida aún no podemos ver muchos casos reales. Pero todo indica que la filosofía BIM se implementara progresivamente durante los próximos años en toda la obra pública, por lo que la Realidad Virtual tiene mucho campo por recorrer en este ámbito.

4.2. Definición

La Realidad Virtual es por lo general un mundo virtual generado mediante tecnología informática, en el que el usuario tiene la sensación de estar inmerso en este mundo. Para contemplarlo, normalmente se hace mediante un dispositivo conocido como gafas de Realidad Virtual, aunque hay otras posibilidades. Este puede ir acompañado de otros dispositivos, como guantes, para aumentar el nivel de inmersión, proporcionando diferentes estímulos aumentando así la sensación de realidad. [22]

El objetivo de la Realidad Virtual es convencerte que realmente estas en el sitio recreado. Esto lo hace engañando el cerebro, en particular la vista y la parte que percibe el movimiento.

Para conseguirlo, intervienen una serie de tecnologías para crear esta ilusión: [23]

- Proyecciones estereoscópicas.
- Sensores.
- Dispositivos de entrada y salida.
- Plataformas computacionales.

4.2.1. Proyecciones estereoscópicas

Estas proyecciones usan múltiples imágenes, una distorsión óptica realista y unas lentes especiales para crear una imagen estéreo. Esto permite recrear nuestra vista natural al recrear la visión de cada ojo separada por un espacio. De este modo nuestros ojos interpretan estas proyecciones como si tuvieran una profundidad en tres dimensiones. Estas proyecciones son transmitidas a los usuarios mediante dos clases de dispositivos posibles:

- Cascos estereoscópicos o HMD (*Head-Mounted Displays*) son dispositivos que se adapta a la cabeza y permite al usuario ver el mundo virtual en 3D. Incorporan sensores sobre la posición i orientación de la pantalla, para poder actualizar la escena continuamente en tiempo real. Estos dispositivos anulan completamente la visión del mundo real.
- Sistemas basados en proyección: las imágenes se proyectan en una o más pantallas que pueden adoptar diferentes configuraciones según el número, forma y disposición. La configuración más extendida es el sistema CAVE. Es un ambiente inmersivo de Realidad Virtual donde proyectores son direccionados hacia entre tres y 6 de una habitación cúbica. [24] Es más usado en ambientes educativos y de ingeniería ya son

ámbitos donde pueden tener el espacio para instalarla y si no tienes en cuenta el espacio que ocupa tiene las siguientes ventajas respecto a los HMD:

- El usuario no queda aislado del mundo real por lo tanto puede interactuar con los demás colaboradores. Esto en un mundo como la ingeniería donde debes intercambiar las opiniones con los demás es un factor a tener en cuenta.
- Visión periférica más realista, equiparándose con el campo visual humano.
- El usuario puede ver su propio cuerpo, eliminando el problema de desorientación más recuente en los HMD.
- La posición también es monitorizada a tiempo real para proporcionar la perspectiva correcta, pero con mucho menos errores y un menor tiempo de latencia al no tener que ir actualizando el movimiento de las cámaras con el de la cabeza. [25]

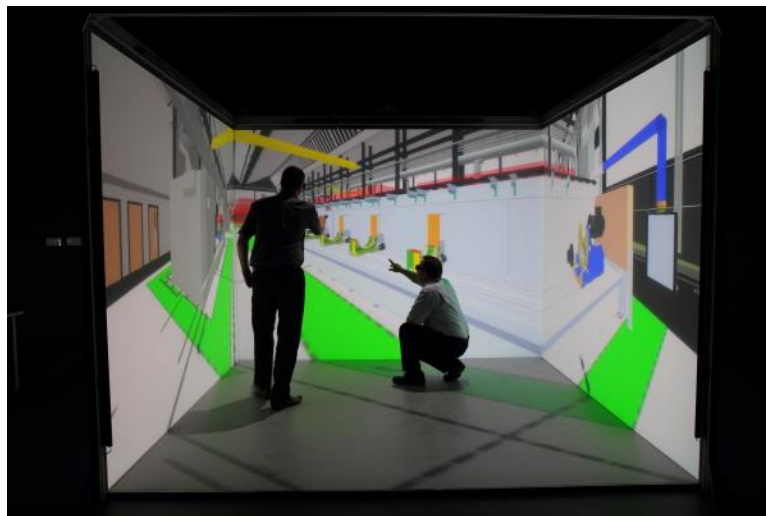


Fig. 4 Virtualis ActiveCube (Fuente: Nuclear AMRC)

4.2.2. Sensores

Diferentes sensores como giroscopios, acelerómetros, sensores de profundidad, sensores de infrarrojos, etc. Estos son usados en diferentes hardware de Realidad Virtual para permitir detectar los movimientos de nuestro cuerpo y transmitirlos al mundo virtual. Actualmente los sensores de la mayoría de dispositivos se centran en detectar el movimiento de nuestra cabeza, y en menor medida el de las manos.

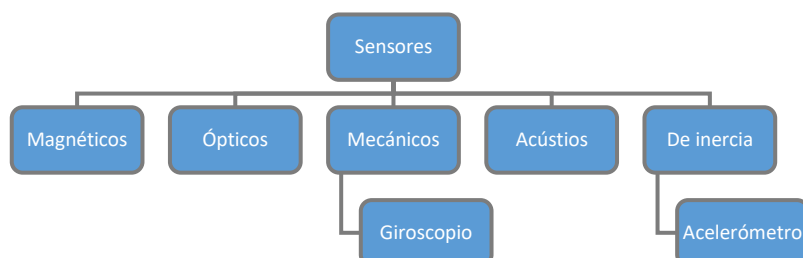


Fig. 5 Tipos de sensores

4.2.3. Dispositivos de entrada y salida

Dispositivos de entrada capaces de reconocer movimientos (mediante los sensores incorporados) más naturales y similares a nuestra forma de movernos. Así poder interactuar de una forma más natural con el mundo virtual. Aquí entran una gran variedad de dispositivos hápticos. Los dispositivos de salida siguen la misma filosofía. En función de la actividad que queremos realizar, se busca transmitir los estímulos de forma más natural posible y así tener una inmersión mayor.

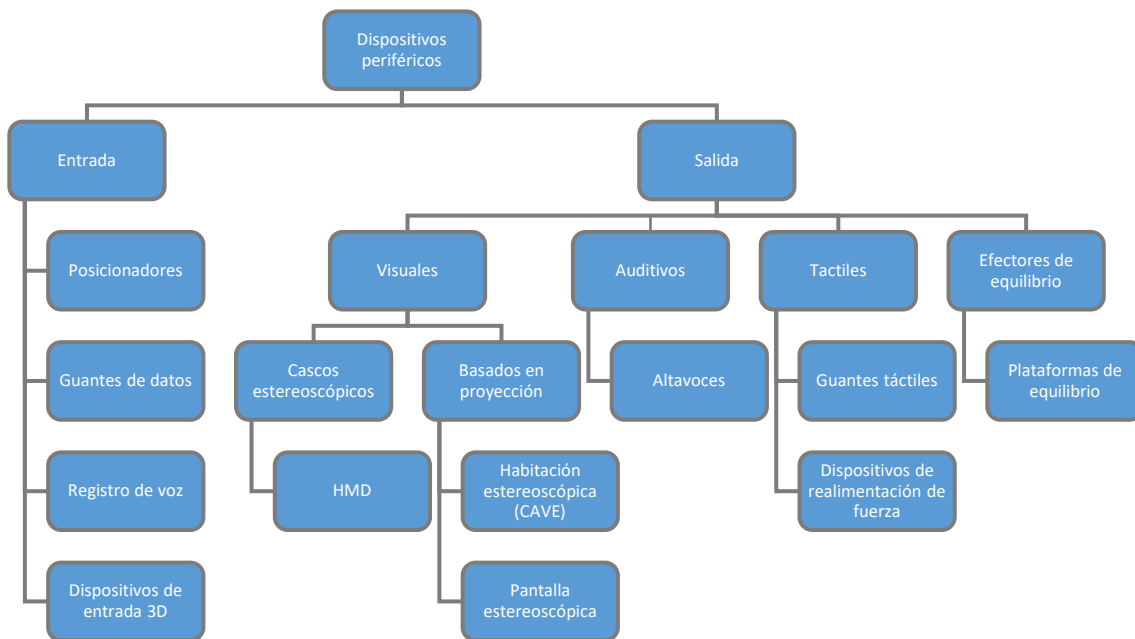


Fig. 6 Dispositivos periféricos

4.2.4. Plataformas computacionales

Engloban ordenadores, sistemas operativos, programas de interfaz de los dispositivos, marcos de trabajo y motores que ejecutan las aplicaciones y entornos de desarrollo de software para construirlos.

Una instalación de Realidad Virtual tiene la siguiente estructura:

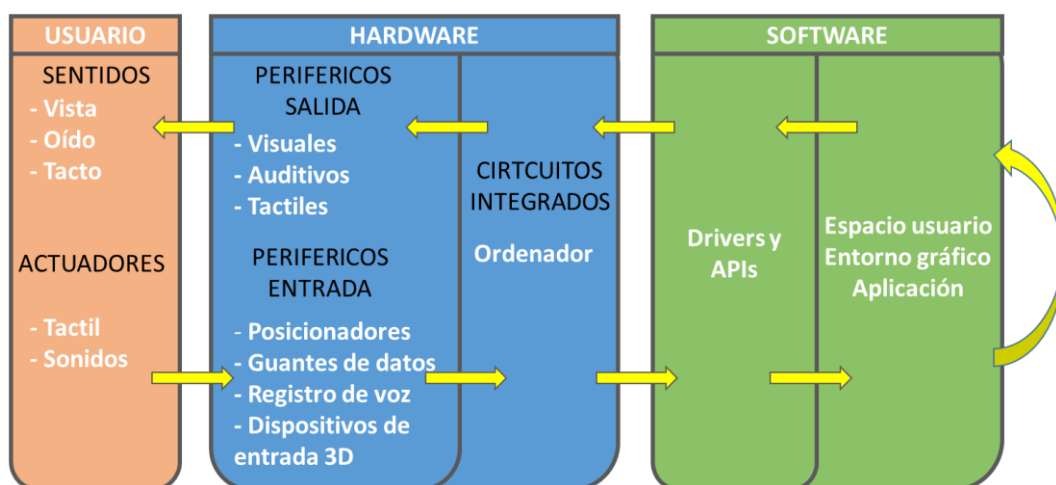


Fig. 7 Arquitectura de un sistema de Realidad Virtual (Fuente: Basado en Wikipedia)

4.3. Estado de la técnica

Cada año que pasa, los dispositivos disponen de características computacionales más potentes (procesadores, memoria, etc), lo que permite recrear mundos virtuales de mayor calidad. Actualmente la Realidad Virtual está en expansión, las grandes empresas del mundo de la tecnología están invirtiendo en esta tecnología. Según el estudio que ha hecho *Superdata Research* [26], la Realidad Virtual seguirá aumentando y durante los próximos años.



Fig. 8 Estimación de ingresos en la venta de hardware y software de VR. (Fuente: Superdata Research)

4.3.1. Hardware

Actualmente grandes empresas están invirtiendo en Realidad Virtual, y donde se ha centrado principalmente es en los dispositivos HMD (*Head Mounted Display*) y en 2016 son diversos los dispositivos disponibles.

Esta integración de la Realidad Virtual con los las recientes mejoras tecnológicas, empezó en 2012 cuando P. Luckey presentó *Oculus Rift*. El proyecto pretendía mejorar los dispositivos HMD que existían en el momento. *Oculus* fue adquirido por Facebook en 2014 y este 2016 han presentado la nueva versión del producto. *Oculus* sigue el mismo principio de los primeros dispositivos de Realidad Virtual, pero este incorpora el salto tecnológico que se ha producido los últimos años.



Fig. 9 Oculus Rift (Fuente: Oculus)

Además de *Oculus*, las principales empresas del sector tecnológico están sus dispositivos de Realidad Virtual.

En 2015 *Sony* presento al mercado su propio dispositivo de Realidad Virtual llamado PlayStation VR. Este modelo no es para PC y está pensado para los videojuegos de la consola de la propia marca.

Ese año, *Samsung* también presentó su propio modelo: *Samsung Gear VR* y a diferencia de los anteriores está diseñado para soportar un Smartphone de la en vez de conectarse a un pc siguiendo la filosofía de la *Google Cardboard* presentada en 2014, se usa un teléfono móvil como pantalla.

En 2016, *HTC* ha presentado un HMD, el *HTC Vive*. Es un sistema completo de Realidad Virtual que requiere un ordenador potente para funcionar. Este modelo utiliza sensores IR situados en las paredes para mapear el espacio físico donde estamos situados, integrándolo así en el espacio virtual. Esto nos permite movernos libremente por la habitación.

Este mismo año, *Google* presenta *Daydream View*. Al igual que la *Google Cardboard* utiliza un Smartphone como pantalla. Pero a diferencia los dispositivos deben tener la tecnología *Daydream* para funcionar. [27] [28]



Fig. 10 HMD actuales (Fuente: New Atlas)

En el caso de *Microsoft* se ha centrado más en la realidad aumentada, presentando en enero de 2015 las *HoloLens*.

En la parte de los sensores de movimiento a parte de los que vienen ya incorporados en los HMD para detectar el movimiento de la cabeza, los más utilizados actualmente son *LeapMotion* y *Kinect*.

Kinect [29] inicialmente salió al mercado 2010 como parte de las videoconsolas *Xbox 360*, pero los desarrolladores las han integrado a muchas otras aplicaciones a parte de los juegos. Usa una cámara RGB, un sensor de profundidad y un micrófono. Puede detectar el movimiento de diversas personas a la vez. En 2013 presentaron Kinect 2 con mejor precisión y resolución.

LeapMotion [30], salió al mercado en 2013, y permite captar el movimiento de las manos y trasladarlo en el mundo virtual. De este modo podemos interactuar con el mundo virtual mediante nuestras manos. Dispone de un paquete de desarrollo para integrarlo en aplicaciones de RV.



Fig. 11 LeapMotion (Fuente: LeapMotion)

Los dispositivos hápticos suelen operar dando señales tanto de entrada como de salida. Hay muchos dispositivos diferentes, y aunque hay muchos están en fase de prototipo, hay muchos modelos en el mercado. Dos de las empresas más importantes son *Geomagic* y *Cyberglobe Systems*.

Geomagic [31] tiene diferentes modelos de aplicaciones de escritorio y se basan en interactuar con el mundo virtual a través de un lápiz. Sus productos varían en función de los requisitos y necesidades.



Fig. 12 Geomagic Touch X (Fuente: Geomagic)

Cyberglobe Systems [32] desarrolla diferentes guantes hápticos táctiles como *CyberGlove II*, *CyberGlove III* o *CyberTouch*. También desarrollan guantes con una respuesta de fuerza con exoesqueletos como *CyberGrasp* o *CyberForce*.



Fig. 13 CyberGlove II y CyberGrasp (Fuente: CyberGlove Systems)

4.3.2. Software

Los ambientes de RV en ambientes de construcción y arquitectura, han sido creados tradicionalmente con plataformas de desarrollo de Realidad Virtual potentes, como puede ser *WorldViz Vizard* [33] o *Virtualis Visionary Render* [34].

Pero la tendencia de los últimos años ha sido usar motores de videojuegos. Están pensados para una gran variedad de situaciones de alto rendimiento a un gran nivel de detalle. En contraste a usar un motor gráfico puro, el sonido, físicas en el movimiento y su conectividad con diferentes dispositivos, ya son presentes. Además, son usados para recrear infinidad de diferentes situaciones por lo que se puede encontrar referencias más fácilmente, como por ejemplo movimientos en primera persona. [35]

Los más utilizados son *Unity* ⁴ y *Unreal 4* ⁵. El primero tiene una gran cantidad de referencias y mucho material libre además de tener compatibilidad con diferentes dispositivos de Realidad Virtual como *Oculus* o *Google Cardboard*. *Unreal 4* tiene un motor gráfico más potente, pero tiene menos referencias. Si bien UE4Arch⁶ ha generado material para *Unreal 4*, y vende un amplio rango de modelos y materiales, *Unity* está más extendido en el mundo de la arquitectura y la construcción.

En 2015 *Autodesk* presento su propio motor de videojuegos: *Autodesk Stingray*⁷, el cual fue construido a partir de *BitSquid engine* adquirido por *Autodesk* en 2014. Se puede vincular con *Autodesk 3ds Max*, para el diseño de modelos. *Autodesk* está explorando vías para hacer más accesible el programa para usuarios de *Revit* y así poder hacer una conexión directa entre BIM y la RV.

Buscando solucionar este problema, *IrisVR*, ha creado *Prospect* [36], es un programa que permite insertar modelos BIM (*Revit*) directamente a un entorno de RV. La contra es que es principalmente para visualizar el modelo a diferencia con los otros donde puedes hacer una interacción más real con el modelo, en primera persona.

Pensando más en la visualización del modelo tenemos las vistas 360 grados, donde tenemos una vista panorámica de imágenes a nuestro alrededor, pero las vemos en estático. Estas aplicaciones están más pensadas en los dispositivos donde la pantalla es un smartphone como por ejemplo el *Samsung Gear VR* o la *Google Cardboard*.

Las imágenes pueden ser renderizadas desde un amplio abanico de aplicaciones como por ejemplo *Chaos Group V-Ray*, *Nvidia Iray VR Lite*, *Autodesk A360 Rendering*, *Iris VR Scope* y *Lumion*.

En los sistemas CAVE, los programas más utilizados son *OpenSG*, *OpenSceneGraph* y *OpenGL Performer*. [24]

⁴ <https://unity3d.com/es/>

⁵ <https://www.unrealengine.com/what-is-unreal-engine-4>

⁶ <https://ue4arch.com>

⁷ <http://www.autodesk.com/products/stingray/features/all>

CAPÍTULO 5. REALIDAD VIRTUAL PARA LA FORMACIÓN

5.1. Introducción

En el proceso de aprendizaje intervienen muchos factores relacionados con la psicología y la neurociencia, que no son el objeto de estudio de este trabajo, pero que serían importantes a la hora de realizar aplicaciones en Realidad Virtual para mejorar el conocimiento en la prevención de riesgos.

El objetivo de una formación con Realidad Virtual, es interiorizar más los conocimientos adquiridos al haber experimentado las acciones en primera persona y no a un nivel teórico como la formación actual en materia de seguridad, como se vio en el primer capítulo.

5.2. Proceso de aprendizaje

Para realizar una formación adecuada es importante comprender como es adquirido el conocimiento. En este sentido hay varios estudios realizados, que basan el proceso de aprendizaje en tres fases:

1. Adquirir conocimiento declarativo para realizar una acción procedimental.
2. Consolidar el conocimiento adquirido
3. Afinar el conocimiento hacia el sobre aprendizaje.

En la siguiente grafica se muestra las diferentes fases y la diferencia como el olvido es diferente según en qué fase se encuentra el conocimiento. [37]

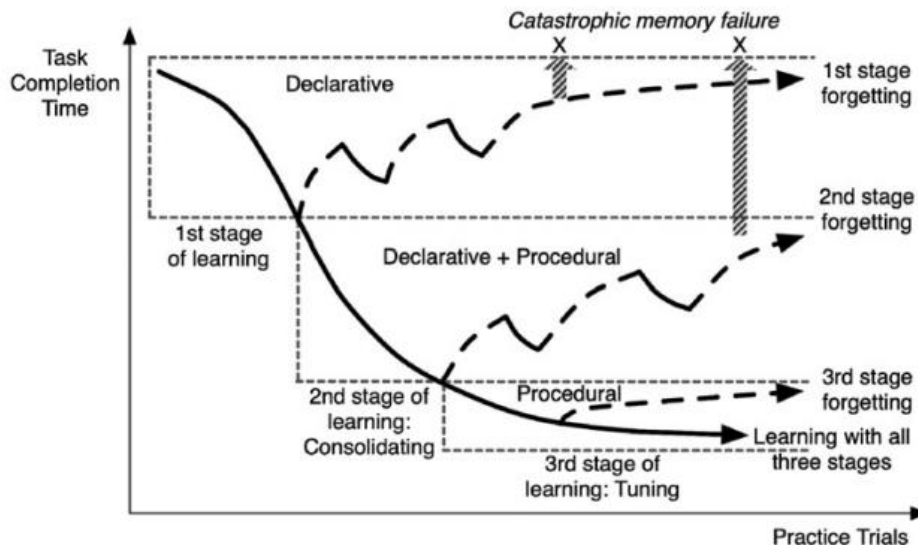


Fig. 14 Curva de aprendizaje

Primera fase: Declarativa

En la primera fase es donde ocurre la adquisición de la habilidad. Un entrenamiento básico y centrado en adquirir la habilidad puede ser el adecuado. En esta fase, aprender y olvidarse sucede al activarse el mecanismo para el conocimiento declarativo en el ACT-R⁸. Durante esta

⁸ Modo como el cerebro es organizado de modo que permiten módulos de procesamiento individual para producir la cognición [38]

primera fase, la falta de uso provoca una degradación del conocimiento declarativo, incluso puede llegar hasta un punto “catastrófico”, donde se ha olvidado hasta el punto donde ya no es posible realizar la acción correctamente. Un fallo de memoria “catastrófico” sucede cuando los conocimientos declarativos no pueden ser recordados por una falta de práctica. Con el tiempo la fuerza de las conexiones en la memoria disminuye produciendo una falta de precisión. En esta fase como mayor sea la carga de trabajo, peor será la eficiencia en recordar el conocimiento, por lo tanto, se tardará más tiempo en realizarla.

Segunda fase: Asociativa

En esta segunda fase del aprendizaje se produce una mezcla entre la memoria declarativa y la procedimental. Con la falta de uso, el conocimiento declarativo es olvidado, significando la producción de errores. La memoria procedimental, es básicamente inmune a decaer. El olvido en esta fase es variable debido a que el conocimiento mixto decae a diferentes ratios. Igual que en la primera fase, también se puede producir un fallo de memoria catastrófico debido a que el conocimiento declarativo no está totalmente activado. Para evitarlo es conveniente continuar el entrenamiento para mantener el conocimiento declarativo activo y para obtener una mayor memoria procedimental: la memoria declarativa debe estar suficientemente activa para que se generen nuevas reglas procedimentales.

Tercera fase: Procedimental

En esta tercera fase del aprendizaje, el conocimiento es presente tanto en forma declarativa como procedimental, pero este último predomina cuando se realiza una acción. El uso continuo de la habilidad, compilará el conocimiento declarativo, de las tareas a realizar, hacia un conocimiento procedimental. Con la falta de uso el conocimiento declarativo se puede degradar, pero el individuo aún podrá realizar la tarea, si previamente todo el conocimiento ha sido procedimentalizado o es posible obtenerlo en el entorno donde se realiza la acción. Cuando una habilidad no se usa habitualmente, como recuperarse de un error inusual, es necesario recuperar el conocimiento necesario desde la memoria declarativa para realizarla. La falta de uso podría provocar una ejecución incorrecta. Para evitar esto, es necesario seguir con un entrenamiento para que cuando sucedan situaciones poco habituales el trabajador ya haya procedimentalizado el conocimiento o que al menos el conocimiento declarativo esté activo, para saber cómo actuar.

En la formación de trabajadores en materia de seguridad, se debería tener en cuenta este proceso del aprendizaje, para asegurar que tienen los conocimientos necesarios y saber cómo actuar en todo momento. Debería asegurarse que los trabajadores en la obra siempre tienen los conocimientos necesarios y no solo después de hacer el curso. Una formación continua sería necesaria. En este aspecto la Realidad Virtual podría ayudar a realizar las aplicaciones, de modo que puedan recordar las conductas correctas en obra y corregir errores que pueden producir.

5.3. Aplicaciones de Realidad Virtual para el aprendizaje

Actualmente ya se han hecho diferentes estudios, sobre cómo puede ayudar la Realidad Virtual en la formación, en diferentes sectores como puede ser el militar, médico, o en recrear diferentes espacios de trabajo, simulación de situaciones de riesgo, etc.

En 2002 se hizo un estudio [39] para comparar el entrenamiento de trabajadores en entornos radioactivos de una central nuclear, comparando la efectividad del entrenamiento que se

realizaba con mapas para localizar las zonas según el nivel de radiación con el entrenamiento mediante Realidad Virtual. El estudio también analizaba si era mejor una Realidad Virtual dirigida o que el aprendizaje fuera más libre.

El estudio concluyó que el entrenamiento con Realidad Virtual se trasladaba al lugar de trabajo, aprendiendo a moverse correctamente por las instalaciones. Si bien la Realidad Virtual guiada no presentaba unos resultados muy diferentes al entrenamiento con mapas, la Realidad Virtual no guiada demostró unos resultados mejores. Se adquiere un conocimiento mejor organizado ya que realizas la acción de forma similar a como sería en la realidad, además de adquirir un mejor conocimiento del espacio. Aunque la Realidad Virtual necesitaba un mayor tiempo de aprendizaje, el conocimiento aumentaba con el tiempo de entrenamiento traduciéndose en una mejor actuación en el lugar de trabajo. En el entrenamiento con mapas, una vez aprendidas las zonas, aunque dedicaras más tiempo a estudiar los mapas, no se traduciría en una mejor actuación en el entorno de trabajo, se necesita una formación en ese entorno para acabar de aprender los espacios.

Otro aspecto importante fue que los participantes que utilizaron una Realidad Virtual no guiada, obtuvieron mejores resultados frente a los de Realidad Virtual dirigida. Esto es debido a la diferencia de una formación activa frente a una pasiva. En la activa el usuario está más implicado y tiene que pensar más las acciones que se realizan, estructurando de mejor forma el conocimiento.

En el ámbito militar, se han hecho varios estudios sobre el entrenamiento con Realidad Virtual. Concretamente un estudio sobre el entrenamiento de médicos militares, podría ser útil en el diseño de aplicaciones para la prevención de riesgos. Este estudio analiza como aprendemos y olvidamos las cosas mediante simulaciones virtuales, además de proporcionar entrenamiento en Realidad Virtual para mantener el conocimiento. De modo que la Realidad Virtual puede ser adecuada para realizar el entrenamiento de situaciones que no suceden habitualmente. Con el objetivo de no olvidar cómo actuar cuando se producen. [40]

También puede definir perfiles psicológicos en función de cómo reacciona a las diferentes situaciones presentadas, pudiendo adecuar el trabajador a realizar operaciones en función de su perfil. [41]

En entornos virtuales, podemos introducir respuestas de diferente naturaleza (visuales, auditivas, táctiles, etc.) para reforzar los aspectos que nos interesa que el usuario preste atención.

La Realidad Virtual puede ser una gran herramienta en el proceso de formación, ya sea en la fase inicial para la visualización de los diferentes elementos de seguridad de forma informativa (sin interactuar). En la fase práctica pudiendo recrear rutinas de los trabajadores, así inculcar los procedimientos correctos, o recrear situaciones de riesgo para saber cómo actuar ante ellas. Finalmente, también puede ser útil para hacer formaciones periódicas con el objetivo de recordar cómo actuar ante situaciones no habituales o detectar prácticas incorrectas y poder corregirlas.

CAPÍTULO 6. DESARROLLO DE APLICACIONES EN REALIDAD VIRTUAL

6.1. Introducción

Como se ha visto anteriormente, la Realidad Virtual puede incorporarse dentro de la metodología BIM, permitiendo realizar visitas de obra virtuales en los diferentes modelos que reproducen diferentes estados la obra conforme se va ejecutando. Esto puede ayudar a anticipar determinadas situaciones y diferentes riesgos en la obra, permitiendo decidir cómo actuar correctamente ante ellos.

Además, en diferentes sectores ya se ha estado explorando las capacidades de la Realidad Virtual al en el ámbito de la formación.

Para analizar estos dos posibles usos de la Realidad Virtual destinados a mejorar de la seguridad en el mundo de la construcción, se estudiará cómo es su desarrollo práctico.

- 1) Para un primer acercamiento al desarrollo de aplicaciones, se analizará la compatibilidad de los modelos BIM a la Realidad Virtual y ver qué posibilidades ofrece. Para ello se seleccionará un modelo 3D de un edificio para poder adaptarlo realizar visitas dentro de este en Realidad Virtual. Exploraremos diferentes aspectos del programa como la fluidez y rendimiento. También que posibilidades puede ofrecer cómo el movimiento 1ª persona, realismo en texturas, interacciones con el usuario, iluminación, etc. De este modo podemos tener una idea general del funcionamiento y las posibilidades del programa.
- 2) Una vez ya se ha realizado esta primera aproximación y ya con conocimientos del funcionamiento del programa, se realizará una aplicación en Realidad Virtual orientada a la formación de trabajadores. En esta se recreará una situación de trabajo en la obra donde se le ha incorporado una situación de peligro imprevista. De modo que el usuario experimentara esta situación en primera persona, con el propósito de incorporar el conocimiento aprendido a la forma de trabajar en la obra real. El objetivo ver qué capacidad puede ofrecer la Realidad Virtual en la formación de trabajadores.

6.2. Herramientas utilizadas para la creación de aplicaciones en Realidad Virtual

En el mercado existe diferentes softwares de desarrollo para crear aplicaciones en Realidad Virtual. Estos pueden ser específicos para realizar aplicaciones en Realidad Virtual, o puede adaptarse para este propósito.

Para realizar las pruebas de este trabajo, se ha utilizado un motor de videojuegos. Si bien están pensados para crear videojuegos, debido a sus características su uso puede extenderse a otros ámbitos. Algunos como *Unity* o *Unreal 4*, pueden adaptar la aplicación creada a Realidad Virtual de manera bastante automatizada.

Los motores de videojuegos están pensados para una gran variedad de situaciones de alto rendimiento a un gran nivel de detalle. En contraste a usar un motor gráfico puro, el sonido, simulación física del movimiento y su conectividad con diferentes dispositivos, ya están presentes, facilitando la creación de la aplicación. Los movimientos en primera persona dentro

de modelos de edificios ya están ampliamente recreados en muchos videojuegos por lo que hay una gran cantidad de referencias.

En este trabajo se ha utilizado *Unity* para crear las aplicaciones en Realidad Virtual. La versión básica es gratuita, además es un programa que tiene una gran cantidad de referencias, facilitando la obtención de información para la realización de las pruebas y creación de la aplicación. Además, se ha utilizado *Revit* para la creación y gestión de información de los modelos en tres dimensiones. También ha sido necesario *3ds Max* por una cuestión de compatibilidad de formatos entre *Revit* y *Unity*.

6.2.1. Definiciones de los programas utilizados

- **Unity:** Es básicamente un motor de videojuegos multiplataforma, si bien se está aplicando a otros múltiples campos (como el sector de la salud, la formación o también la construcción), por lo que su definición debería evolucionar hacia la de un entorno de tratamiento de escenarios y objetos 3D fotorrealistas. Es compatible con modelos de diferentes formatos y se está convirtiendo en una herramienta habitual para la creación de aplicaciones de Realidad Virtual. En el marco de este trabajo, nos permite incorporar modelos 3D de edificios, hacer una visita virtual e interactuar con el entorno [42] [43]. Para programar se pueden utilizar dos lenguajes distintos: *C#* o *Javascript*. En este trabajo se ha utilizado *C#*.
- **Revit:** es una aplicación que permite el modelado de información de construcción (BIM) y su flujo de trabajo asociado. Puede modelar diseños con precisión, optimizar el rendimiento y colaborar de manera más eficiente con los diferentes procesos de la construcción. Nos permite crear modelos 3D a partir de planos de archivos CAD [44].
- **3ds max:** es un programa de creación de gráficos y animación 3D. Al ser de *Autodesk*, admite el formato de *Revit*, permitiéndonos convertir las texturas para poderlas visualizarlas en *Unity* [45].

6.2.2. Equipo utilizado

El equipo utilizado para las pruebas ha sido un ordenador portátil *Acer Aspire V15 V3-572G-72LR*. Con un sistema operativo *Windows 10*. Especificaciones del equipo en el ANEXO IV.

Para poder interactuar con la aplicación se utilizarán dispositivos, para poder introducir tanto señales de entrada como de salida.

Finalmente, para poder visualizar la aplicación en Realidad Virtual es necesario unas gafas de Realidad Virtual cómo pueden ser unas *Oculus*. Un Smartphone puede substituir las gafas, pero tiene unas capacidades mucho más limitadas en cuestión de rendimiento y resolución. En las pruebas no se disponía de unas gafas y un ordenador con la capacidad de tener una fluidez suficiente. Se utilizó un Smartphone como substituto.

6.2.3. Dispositivos de entrada y salida utilizados

- **Wiimote:** Es un controlador de la marca Nintendo. Nos permite introducir inputs de entrada mediante botones o el movimiento que nosotros hacemos, ya que dispone de unos sensores de movimiento y acelerómetros que permiten ubicar el controlador en el espacio y nos permitirán en nuestro caso poder interactuar con nuestras aplicaciones sin necesidad de cables. Además, tiene un output de salida a modo de vibración.

- **LeapMotion:** Dispositivo sensor que permite el reconocimiento gestual, típicamente el del movimiento de los dedos y de las manos a modo de cómo entrada de datos para el ordenador, análogo a un ratón, pero sin necesidad de contacto. Así, Nos permite interactuar con el entorno virtual directamente con el movimiento de nuestras manos, más similar a la manera que tenemos de interactuar con los objetos como se haría en la realidad. [46] [47]
- **Controlador de Xbox One:** Controlador de la marca Microsoft. Al igual que el *Wii mote* nos permite introducir inputs de entrada, pero en este caso solo mediante botones. Tiene un output de salida a modo de vibración. Tiene una compatibilidad con *Unity* mejor que el *Wii mote* con muchas más referencias, que facilitan el desarrollo de la aplicación.
- **Smartphone:** se utilizó un HUAWEI ALE-L21 para hacer las pruebas. Se utilizó acoplando el dispositivo móvil a una *Cardboard*. Permitiendo visualizar la aplicación en Realidad Virtual.

CAPÍTULO 7. COMPATIBILIDAD DE REALIDAD VIRTUAL CON LA METODOLOGÍA BIM

7.1. Introducción

El objetivo de este apartado, es comprobar la compatibilidad de formatos y las posibilidades que ofrecen las herramientas de *Unity*. Primero se realizará una importación a *Unity* de un modelo creado con *Revit*. Una vez dentro de *Unity* se ajustarán correctamente las texturas y se introducirá un controlador para poder moverse en primera persona, de este modo podemos simular un movimiento realista dentro del modelo. Se analizará qué posibilidades tiene el programa para visualizar e interactuar con los diferentes elementos del edificio. Finalmente, las posibilidades de uso en prevención de riesgos.



Fig. 15 Flujo trabajo de Revit a Unity

7.2. Compatibilidad de formatos

Para realizar las pruebas, se ha utilizado un modelo real de un edificio. De este modo se puede ver mejor cómo es la compatibilidad entre los modelos de BIM y *Unity*. El modelo es del edificio *BO del campus nord* que se acabó de construir a finales de 2015. Es un modelo que no acabó siendo definitivo, pero tiene muchas pocas variaciones con el resultado final.

Aunque el modelo se realizó mediante *Revit*, está en formato *.max*. Esto es debido a que era un archivo destinado a la obtención de imágenes renderizadas de este. Pese y no ser una importación directa desde *Revit*, no varía mucho el flujo de trabajo. Cuando se importa un modelo *.fbx* (exportado de *Revit*) directamente a *Unity*, los materiales asociados se pierden. Para poder conservar estos materiales, primero se tiene que importar el archivo a *3ds max* y después volverlo a exportar. El archivo resultante sí que tendrá las texturas que habíamos aplicado en *Revit*.

Aunque *Unity* puede trabajar con archivos en formato *.max*, para simular mejor el flujo de trabajo entre *Revit* y *Unity*, primero se ha abierto el archivo desde *3ds max* y se ha exportado en formato *.fbx*.

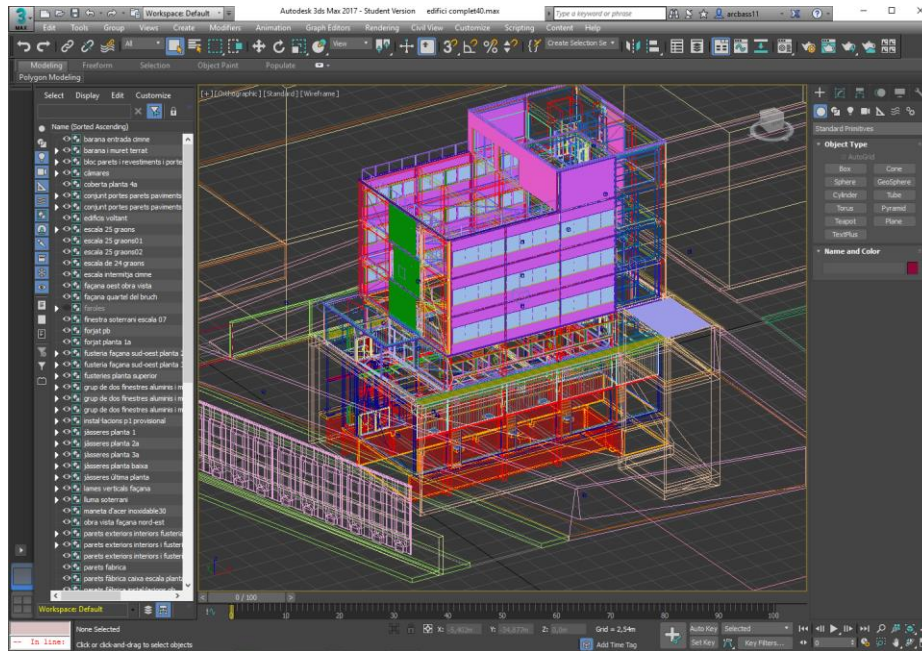


Fig. 16 Modelo edificio B0 en 3ds Max

7.3. Importar el modelo a Unity

Primero se tiene que crear un proyecto nuevo en *Unity*. Al empezar un proyecto, *Unity* crea automáticamente una cámara y una luz direccional para poder ver que hay en la escena.

Para importar el modelo .fbx se introduce directamente en la ventana de proyecto. Es importante que programa detecte las colisiones que se produzcan entre el controlador que utilizado para moverse y las superficies del modelo, para conseguirlo se activa la pestaña de generar *colliders*. Otro aspecto importante es comprobar que el factor de escala sea el correcto, en este caso dejamos el que tiene por defecto.

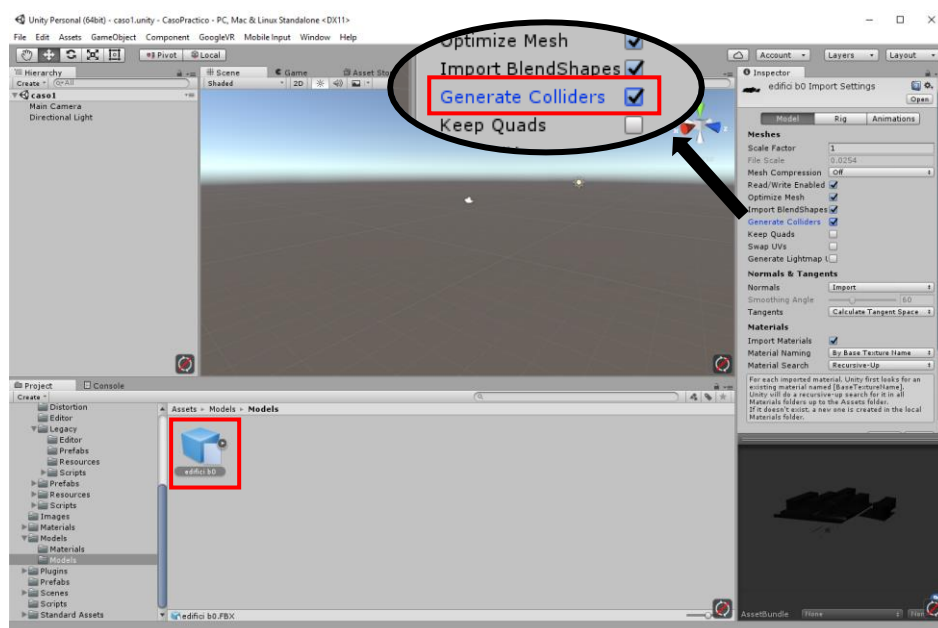


Fig. 17 Importar estructura a Unity

Para introducir el modelo dentro lo escena, se arrastra directamente al interior de esta. Como podemos ver en la Fig 3., los materiales no tienen una textura/color incorporado. Para volver a asignar cada material, se comprueba en 3ds max el nombre y su número asociado, para volver a asignar su textura correspondiente en *Unity*. Una vez reasignada cada textura con su objeto correspondiente el modelo se ve bien.

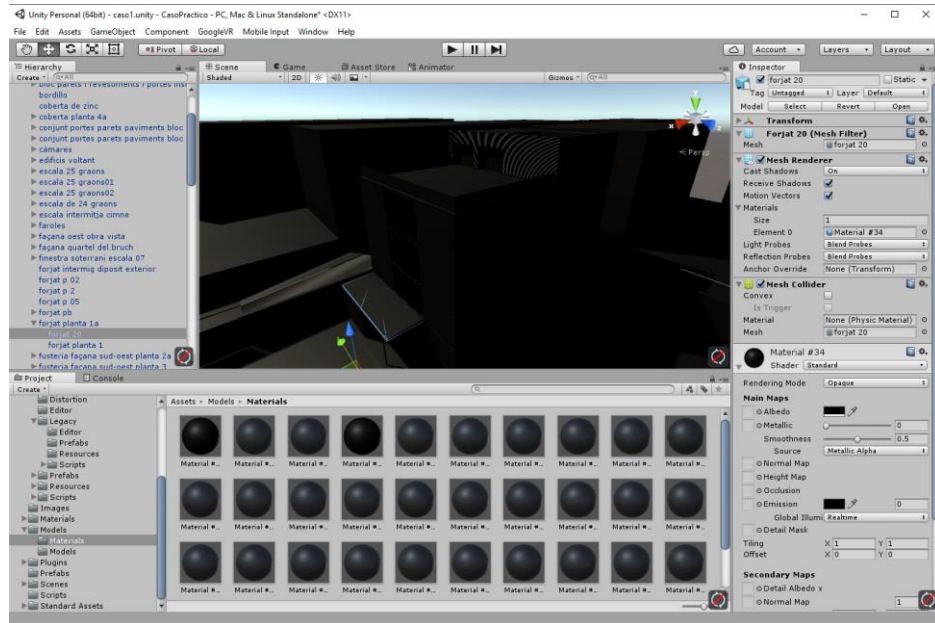


Fig. 18 Materiales que tiene la estructura importada incorporados.

Si se desactiva la opción de *Import Materials* (fig2.) estos serán seleccionados de la carpeta de *assets*. Si hay algún material que comparte el mismo nombre que el material referencia importado, será asignado, si no lo hay se creará uno nuevo con ese nombre. Se puede tener dos materiales diferentes, uno para *3ds max* y la otro para *Unity* pero que tienen el mismo nombre. Cuando se importe ese modelo de *3ds max* a *Unity*, los materiales estarán correctamente asociados elemento correspondiente y con la textura adecuada.



Fig. 19 Estructura con los materiales aplicados.

7.4. Movimiento en primera persona

Para recrear el movimiento en primera persona, hay que tener en cuenta tres aspectos principales:

- **Físicas:** es necesario que el controlador tenga colisiones con los diferentes objetos, de modo que no los traspase. También debe estar afectado por la gravedad. Para ello, a un objeto vacío le añadiremos un *collider* y un *rigidbody*. El *collider* será en forma de capsula para simular el volumen que ocupa el cuerpo de una persona. Para estos propósitos *Unity* ofrece la componente *Character Controller* que cumple las funciones de *collider* para un controlador. El *rigidbody* es necesario para el controlador sea tenido en cuenta por el motor físico del programa de modo que este afectado por la gravedad y reaccione a las fuerzas que se le apliquen.
- **Cámara:** Se le incorpora una cámara que simulara la vista. En caso de Realidad Virtual tendrá dos cámaras para recrear la visión estereoscópica.
- **Código:** Tanto el cuerpo como la cámara tiene que tener código donde se define su movimiento en función de los inputs que introduzca el usuario.

La creación de un movimiento en primera persona simple esta descrita en el ANEXO II. No obstante, debido a que facilitaba el resto del desarrollo de la aplicación, al final se ha utilizado el *FPSController*. Este viene con el paquete de herramientas *Standard assets* de *Unity* y tiene diversas opciones de personalización para adaptarlo a diferentes situaciones.

Viene en forma de *prefab* por lo que solo se tiene que introducir dentro de la escena, eliminar o desactivar las cámaras que había previamente y ya estará listo para usar. Con el controlador incorporado ya se puede realizar visitas virtuales en el edificio.

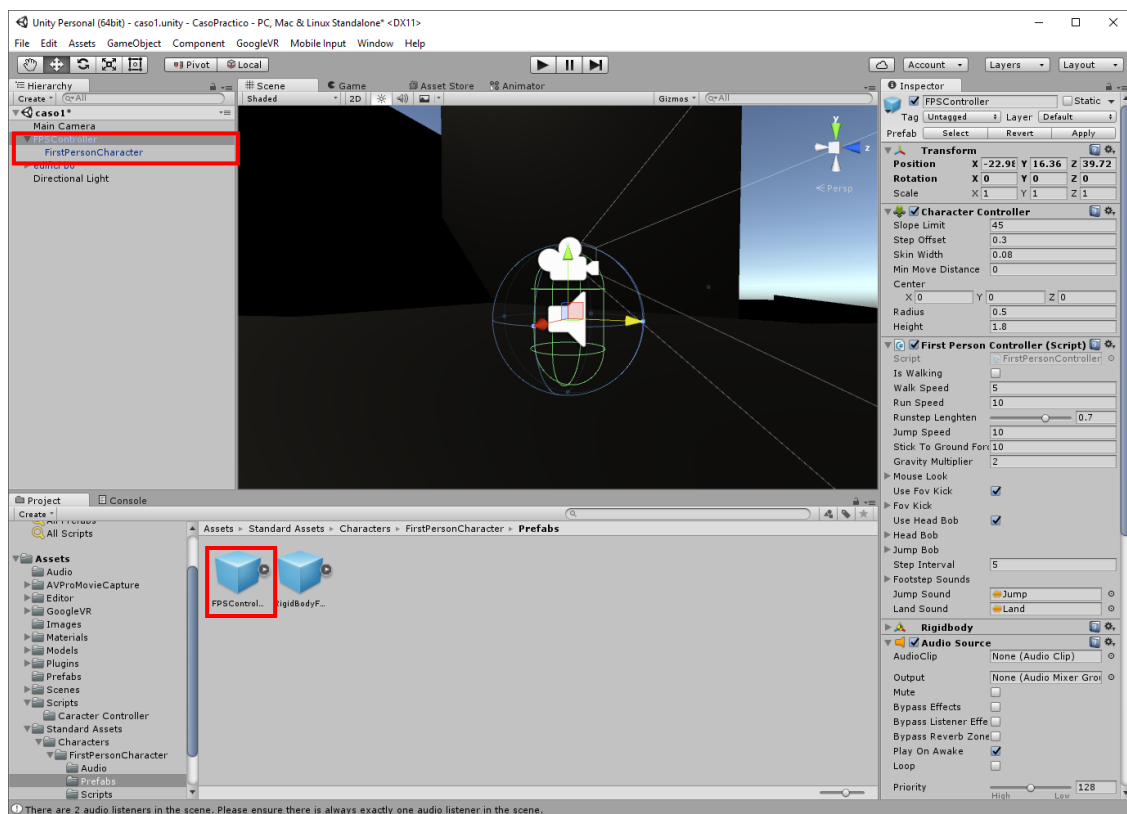


Fig. 20 Prefab FPC Controller de los Standard Assets de Unity

7.5. Inputs del usuario

Para poder controlar el movimiento dentro del modelo, necesitamos que el personaje reaccione a los inputs de entrada que realice el usuario. El *FPSController* tiene configurada la entrada de inputs mediante el teclado y el ratón. De este modo se puede controlar el movimiento dentro del entorno virtual y la dirección de la cámara. *Unity* también tiene soporte para otros controladores periféricos. Para este propósito se han probado dos modelos: el Wiimote y el mando de Xbox.

- Para el *Wiimote* es necesario importar una serie de *assets* ya que *Unity* no es compatible de entrada con este controlador [48]. Mediante esta API, podemos introducir los inputs mediante el *Wiimote*. También podemos introducir inputs de salida de vibración en función de la acción que ha realizado el usuario.
- En el caso del controlador de Xbox, su uso en *Unity* es sencillo ya que es reconocido por el programa. Los inputs pueden introducirse en Edit > Project Settings > Inputs. En esta ventana podemos definir los inputs que queremos. Cada botón o axis del mando tiene un número propio que lo asociaremos a la acción que queremos que tenga. [49]
Con el mando de Xbox también podemos introducir inputs de salida de vibración.

Después de realizar pruebas con los dos controladores, nos hemos decidido a utilizar el de Xbox ya que en cuestión de introducir el movimiento se adapta mejor a las necesidades de la aplicación, además su configuración es más simple. No obstante, el *Wiimote* puede ofrecer muchas opciones dentro de la Realidad Virtual al poder introducir inputs mediante el movimiento que le damos al controlador. Permitiendo que las acciones realizadas en el entorno virtual se asemejen al movimiento que haríamos realmente.

Siguiendo esta filosofía de recrear los movimientos que realizaríamos en la vida real al modelo virtual está el *LeapMotion*. Se ha realizado una prueba para poder introducir en el modelo. Introduciendo el paquete de *assets Orion* [50] podemos utilizar una serie de herramientas que facilitan el desarrollo. Hemos introducido unas manos de muestra y para interaccionar con los elementos de la escena ya que detectan las colisiones.

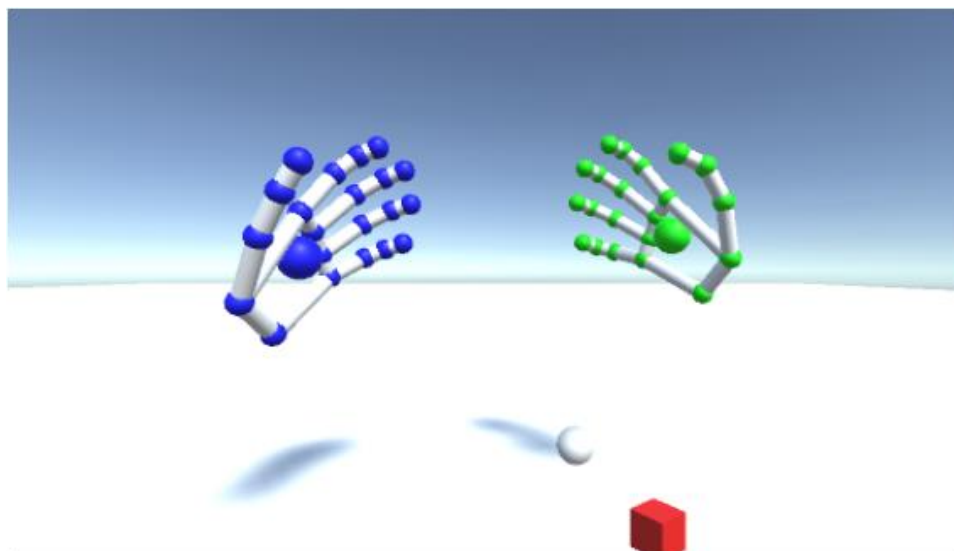


Fig. 21 Vista manos prefabricadas con el paquete Orion para Leap Motion.

Mediante el script “pinch” podemos agarrar diferentes objetos.

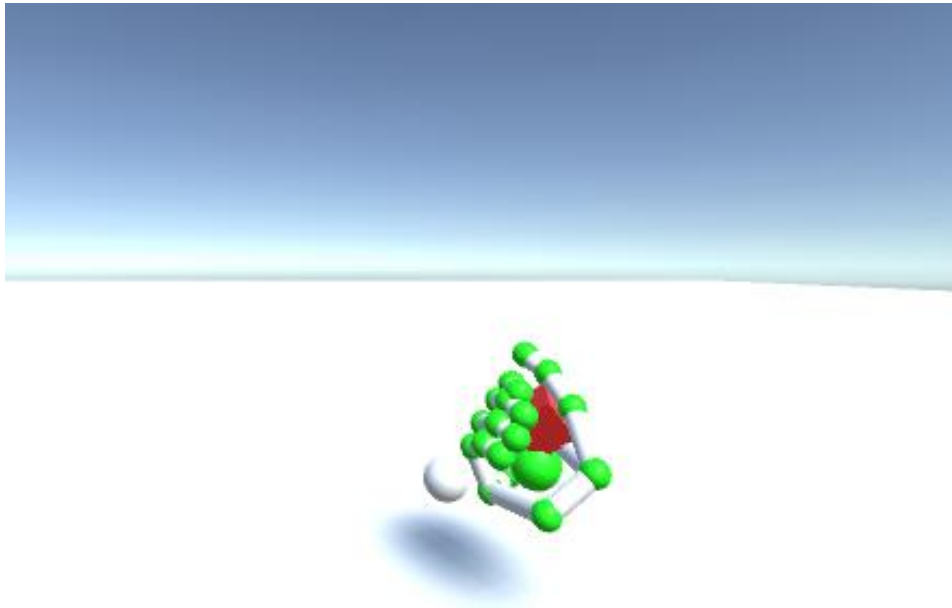


Fig. 22 Vista manos prefabricadas con el paquete Orion para Leap Motion agarrando un cubo.

La herramienta puede recrear adecuadamente los movimientos que haríamos en la realidad, aunque no tendríamos una reacción táctil. Para ello sería necesario otro tipo de dispositivo como serían unos guantes hápticos. Aunque tiene una serie de ventajas y muchas posibilidades de uso, se ha decidido no introducirlo en la aplicación ya que al igual que el wiimote haría el desarrollo mucho más complicado y dificultaría la movilidad del usuario dentro del modelo.

7.6. Posibilidades de *Unity*

Para ver que otras herramientas tiene *Unity* para recrear situaciones o interactuar con el modelo, se han explorado los siguientes aspectos:

- Interacción con el usuario e interfaz.
- Introducción de respuestas en función de las acciones del usuario (introducción de alertas, sonidos, respuestas visuales, etc)
- Iluminación

7.6.1. Facilitar interacción

Para facilitar la interacción con el usuario se han realizado una serie de menús para que el usuario pueda seleccionar las opciones que crea necesarias.

Para la creación de menús, se necesitan las herramientas UI, el *Event System* y una implementación de código. Cuando activamos el menú se pausa la aplicación y podemos seleccionar diferentes opciones, como activar y desactivar capas, en que planta situar el controlador o activar las alertas para saber la situación de los riesgos presentes en la obra.

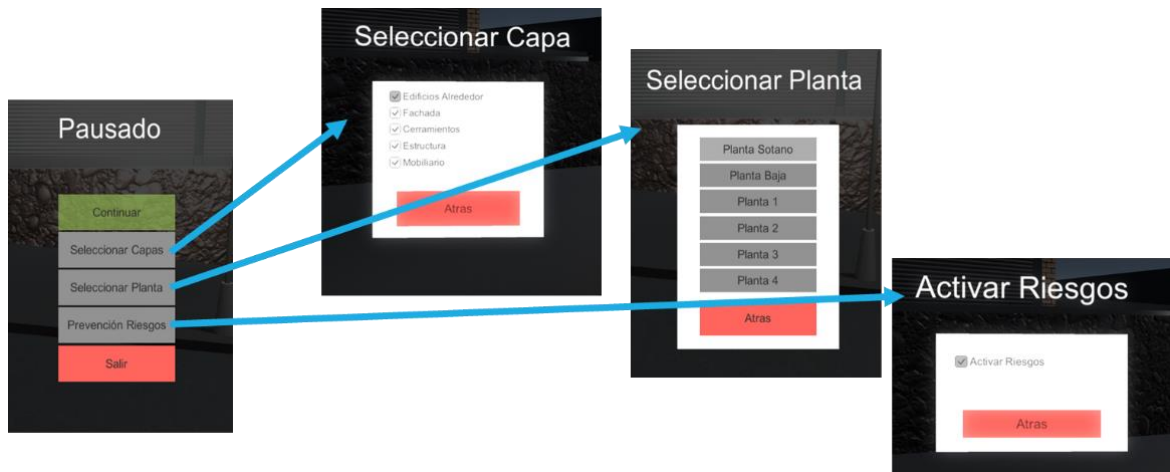


Fig. 23 Diferentes menús implementados

De este modo se puede cambiar las características del modelo, mientras se está usando la aplicación. Se han realizado tres submenús, que están explicados a continuación.

7.6.2. Seleccionar diferentes capas

Para facilitar la selección de los elementos del edificio que queremos visualizar, se han organizado en función de si son parte de la estructura, fachada, cerramientos, mobiliario y edificios del alrededor. En este aspecto sería importante que ya vinieran organizados antes de importarlos, para agilizar el trabajo. En este caso no lo estaban por lo que se ha realizado dentro de *Unity*.

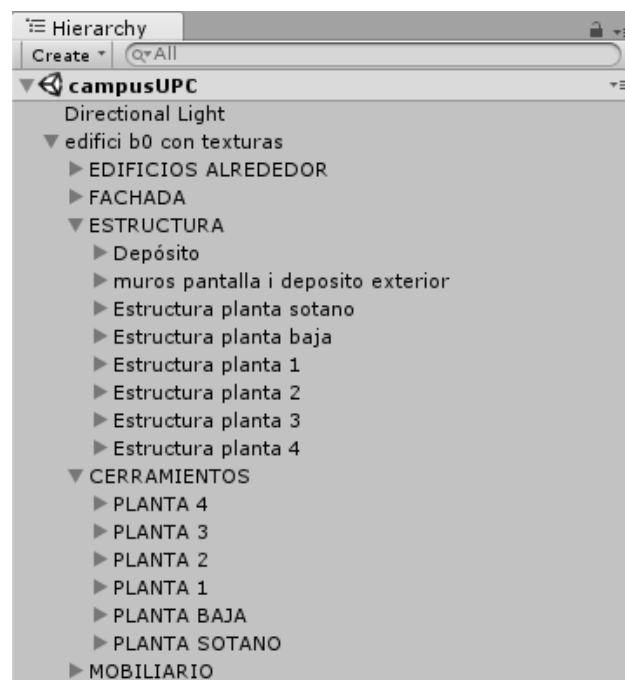


Fig. 24 Organización de los elementos del edificio por plantas

Esto facilita poder activar o desactivar las capas que queremos ver mientras se está usando la aplicación. En el menú de seleccionar capas, podemos activar o desactivar las capas que queremos que estén visibles. Para ello hemos utilizado el *Event System* del *toogle*.

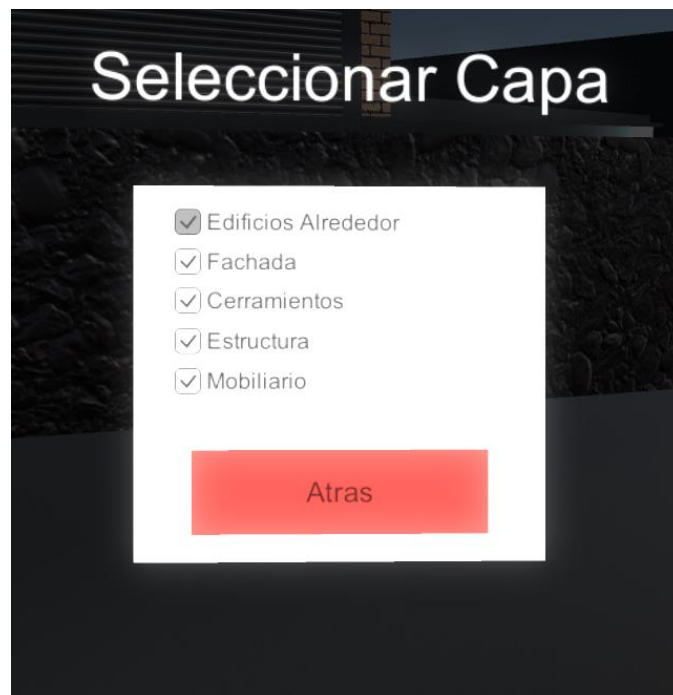


Fig. 25 Menú seleccionar capa

De este modo podemos cambiar las capas mientras estamos visitando virtualmente el edificio:

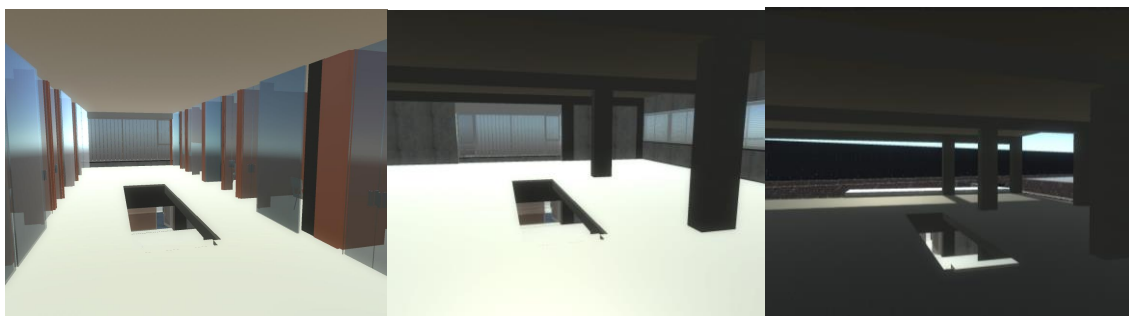


Fig. 26 Diferencias en función de las capas seleccionadas.

7.6.3. Seleccionar planta

En el menú de seleccionar planta, podemos trasladarnos rápidamente a cualquier planta del edificio. Mediante código, se ha programado que al pulsar un botón de este menú, el controlador se trasladará a las coordenadas correspondientes a la planta seleccionada.

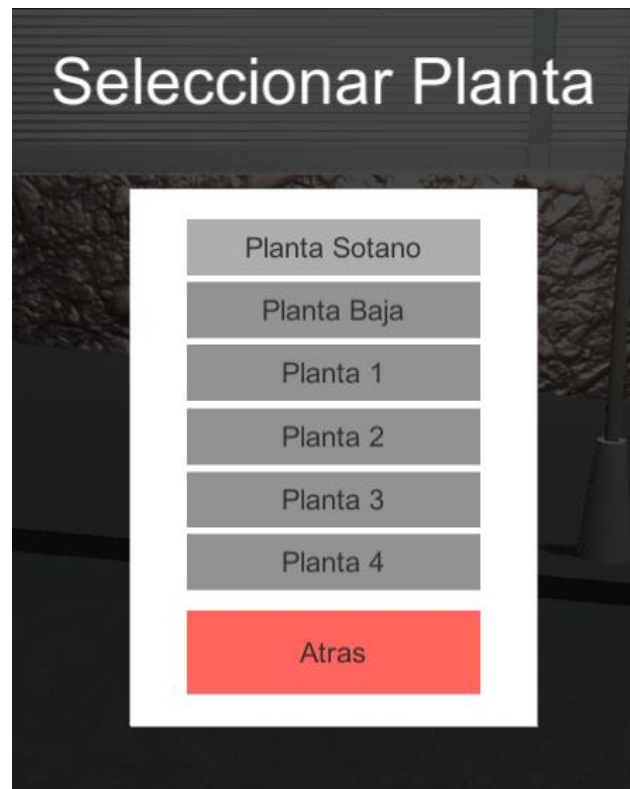


Fig. 27 Menú seleccionar planta

7.6.4. Activar riesgos

Se han creado diferentes alertas que nos marcan la situación de diferentes riesgos, en diferentes partes de la obra. Esto permite saber su posición y por qué suponen un riesgo. Desde este menú se, podemos activarlos para que sean visibles. La realización de estas alertas se detalla en el siguiente apartado.



Fig. 28 Menú para activar la visibilidad de los riesgos presentes.

7.7. Introducción de alertas

En *Unity* se pueden crear diferentes tipos de reacciones en función de nuestras acciones. Para la simulación de riesgos hemos intentado introducir una reacción al entrar en la zona de riesgo. Para ello nos hemos ayudado de diferentes herramientas en función de la respuesta que queremos obtener.

- **Visuales:** Hemos introducido dos tipos diferentes de respuestas visuales: una en forma de texto avisándonos del peligro y otra en forma de color. Para el texto, se han utilizado las mismas herramientas que con los menús. Pero en este caso solo hemos introducido un texto. También podemos introducir color a la pantalla para avisarnos. Otra respuesta es mediante los objetos tipo luz. En este caso hemos introducido una luz de color rojo en el punto del riesgo para indicarnos su situación. Este se puede activar al entrar en peligro o dejarla activada para marcar donde están los riesgos a modo informativo.
- **Auditivos:** al entrar en riesgo se activa un archivo de audio. En este caso es un pitido de alerta. Se puede programar para que suene una vez o que se repita. En este caso se repite hasta que salimos de la zona de peligro.
- **Vibración:** al entrar en la zona de peligro el mando vibra.

Para activar las diferentes respuestas, hemos creado una zona alrededor de la zona de peligro que al entrar activa las diferentes alertas. Para ello, hemos creado un box *collider* que engloba la zona de peligro, con la pestaña *trigger* marcada. De este modo al entrar dentro de este, se activa el script que tiene incorporado. En este caso al entrar dentro se acciona un audio de alerta, y aparece un texto indicando cual es el peligro. Para visualizar la zona donde está situado le hemos introducido una luz de color rojo.

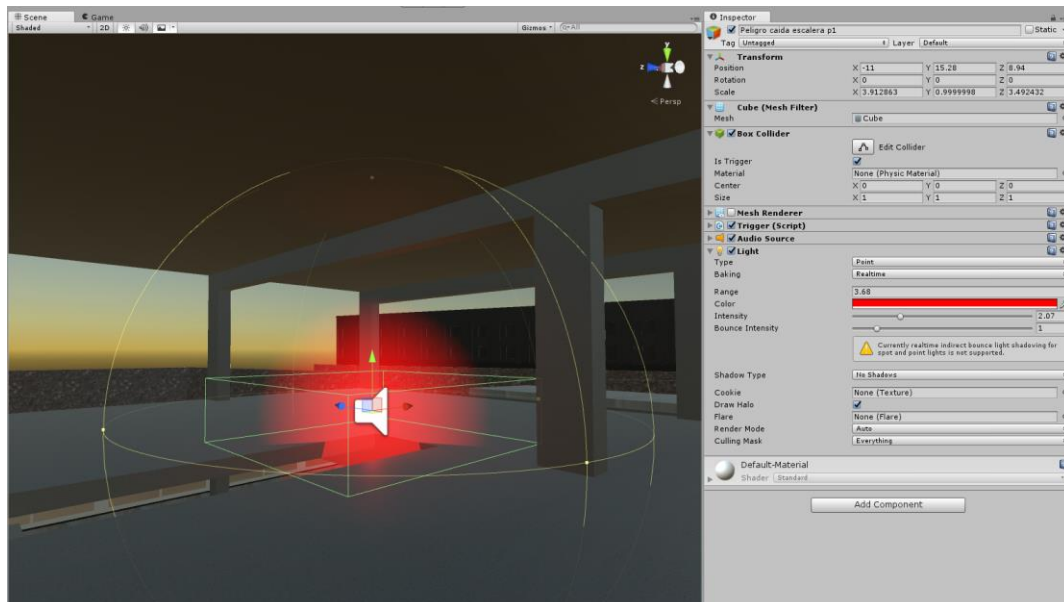


Fig. 29 Collider para marcar los peligros



Fig. 30 Mensaje que aparece al entrar en la zona de peligro

7.8. Iluminación

Unity ofrece muchas opciones en iluminación. Mediante estas herramientas podemos simular luces naturales y artificiales. Para ello nos ayudaremos de la componente light y sus diferentes opciones. Para simulaciones realistas, se requiere un aprendizaje más avanzado, teniendo en cuenta diferentes aspectos, como las texturas utilizadas, el tipo de luz o cómo se refleja. Este trabajo solo buscaba ver sus posibilidades, y se ha comprobado que permite recrear prácticamente cualquier situación. Se han realizado pruebas para recrear tanto luz natural como artificial:

Se ha simulado el movimiento del sol para ver como se ve el edificio en diferentes exposiciones a la luz. Para ello hemos vinculado código que hace girar la luz direccional de modo que simula el movimiento del sol. [51]

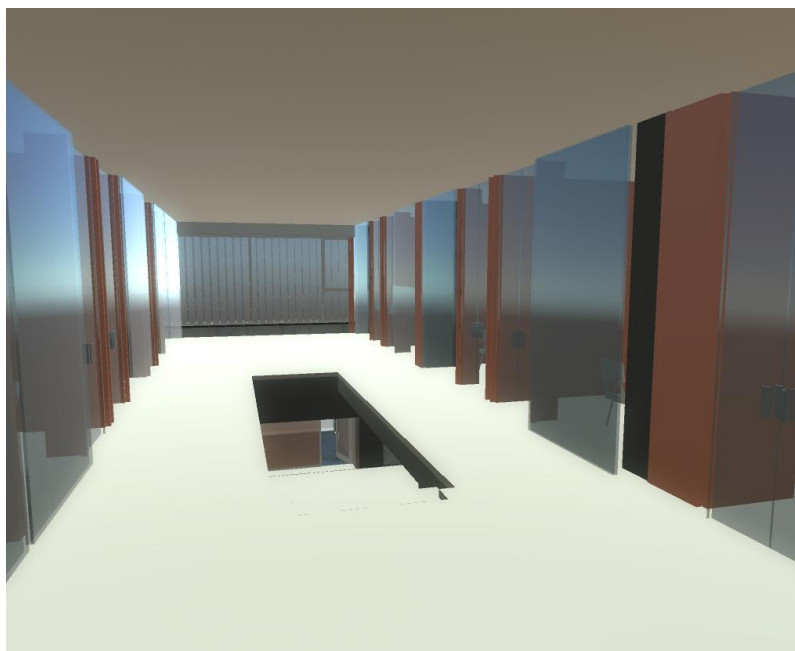


Fig. 31 Iluminación natural primera planta.

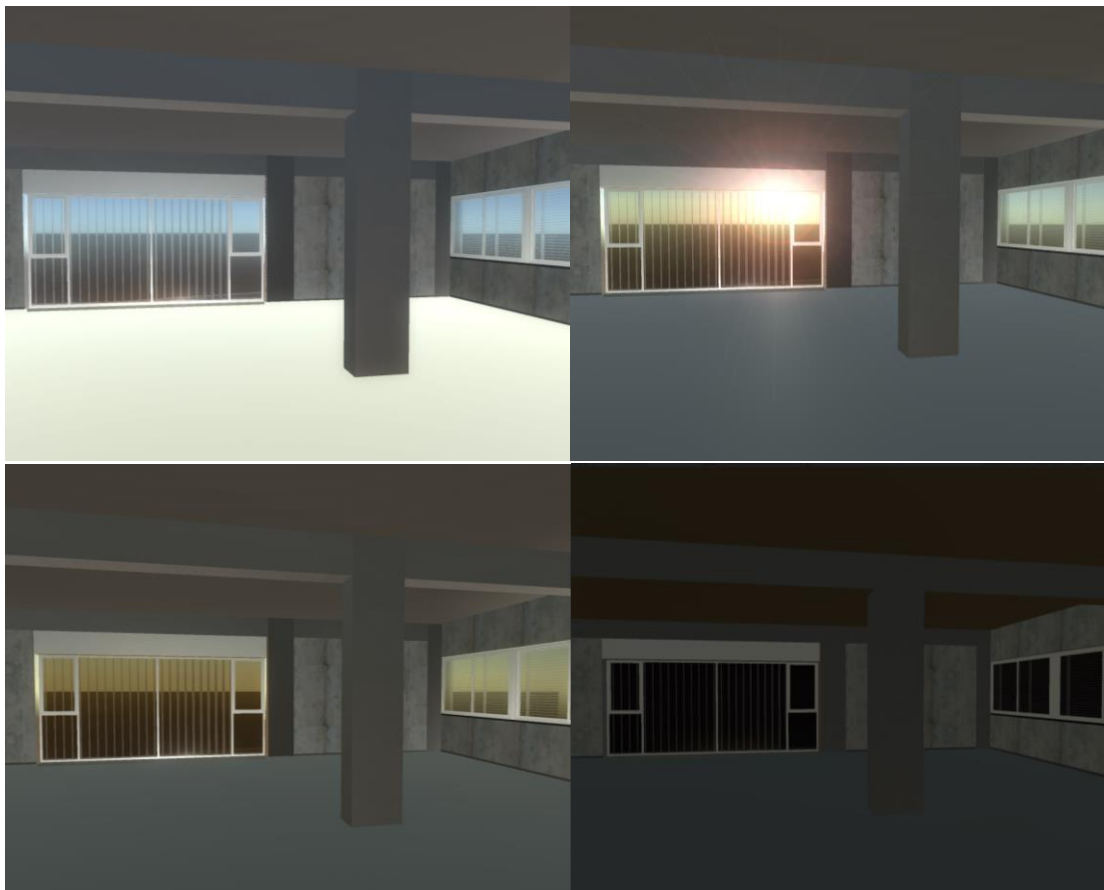


Fig. 32 Cambio iluminación simulando el movimiento del sol.

Mediante la utilización de *Point lights* y *Spot lights*, se puede recrear la luz artificial:



Fig. 33 Iluminación artificial primera planta

Iluminación artificial exterior, recreada mediante la utilización de *Point lights*.



Fig. 34 Iluminación artificial exterior

Iluminación artificial del sótano, recreada mediante la utilización de *Spot lights*.

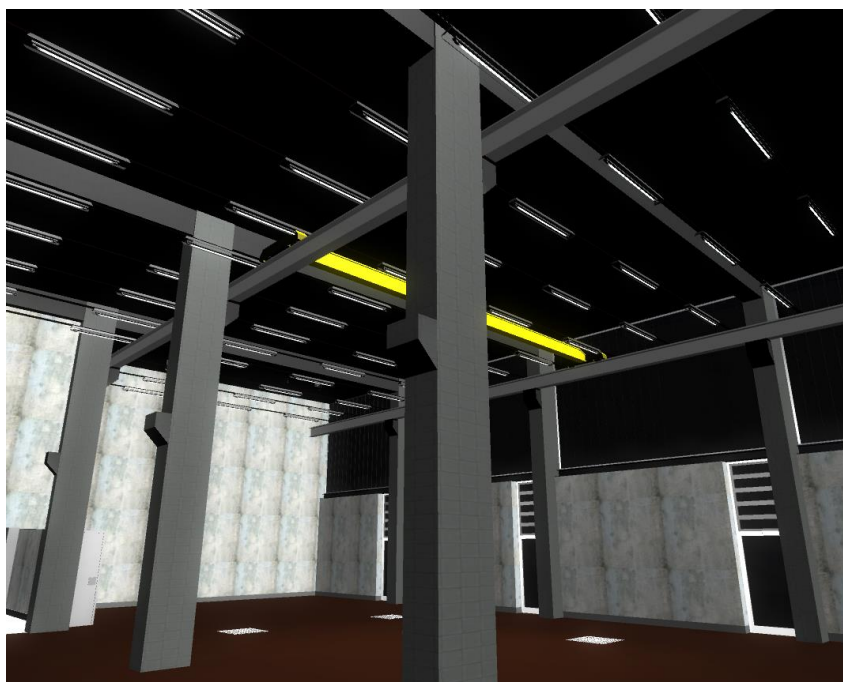


Fig. 35 Iluminación artificial sótano

7.9. Adaptar la aplicación a Realidad Virtual

Para adaptar la aplicación a Realidad Virtual, *Unity* ofrece una API que es compatible con diversos dispositivos HMD. De este modo no es necesario utilizar aplicaciones externas.

Para habilitar el soporte en Realidad Virtual, se tiene que configurar en la ventana *Player Settings* (menu: Edit > Project Settings > Player)

Para ello se activa la pestaña de *virtual reality supported* y se selecciona el SDK del dispositivo al que estará destinado la aplicación.

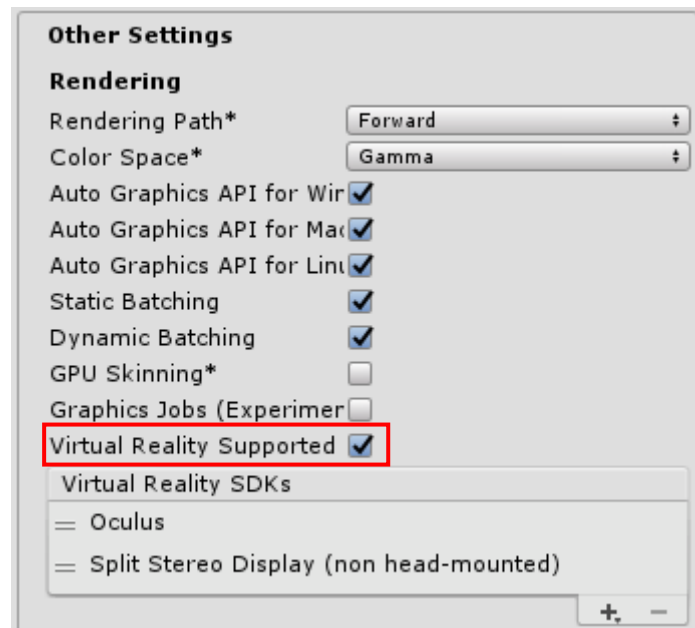


Fig. 36 Habilitar Realidad Virtual en Unity

Cuando la Realidad Virtual está habilitada, automáticamente tienen la capacidad de renderizar en visión estereoscópica para dispositivos HMD. También reconoce los inputs generados por los movimientos de la cabeza transmitiéndolos a la cámara utilizada en la aplicación.

Cada fabricante de dispositivos HMD como *Oculus* o *HTC* ofrecen herramientas para facilitar la adaptación de la aplicación a la Realidad Virtual.

En la prueba realizada en el momento de construir la aplicación, la plataforma de destino es un pc y tiene como inputs de entrada el teclado o un controlador (*Xbox*). Para visualizarlo será necesario el dispositivo HDM que hayamos seleccionado en el SDK.

7.10. Resultados

Unity permite una fácil incorporación de los modelos de BIM. En este caso, el modelo tenía algunos fallos por lo que al importarlo se han reasignar todas las texturas y reorganizar los diferentes elementos, pero si cuando se trabaja en *Revit* se organizan bien los elementos este proceso se simplifica mucho.

Una vez se han adaptado los materiales en *Unity*, si en otro modelo BIM nombramos los materiales de la misma manera, estos materiales serán utilizados automáticamente si marcamos la pestaña de no importar el material. Esto simplifica el flujo de trabajo.

El movimiento en primera persona es fácil y rápido de implementar. Al estar definido por código, tiene una gran posibilidad de personalización, en función del uso que se le quiera dar.

Unity ofrece compatibilidad con diferentes dispositivos (controladores o gafas de Realidad Virtual) y plataformas ya sea en pc o dispositivos móviles. Esto puede facilitar el desarrollo de aplicaciones pudiendo adaptar la aplicación fácilmente para cada caso.

En la iluminación para obtener resultados más realistas, es necesario tener un conocimiento mayor en renderizar modelos, pero *Unity* ofrece muchas posibilidades en este aspecto. Se ha podido simular el movimiento del sol. Esto puede ofrecer ayuda en el proceso de diseño, de modo que ilumine el edificio, pero de manera que no moleste. También se puede tener en cuenta durante el proceso de construcción para que no perjudique los operarios que tienen que trabajar, ya sea evitar trabajar en determinados puntos de la obra cuando el sol sea muy molesto, como también facilitando medidas atenuantes. La simulación de los diferentes tipos de luz también puede ayudar en el proceso de diseño.

Los *prefabs* ofrecen muchas posibilidades ya que una vez definidos, son muy fáciles de implementar. En este caso han sido utilizados para marcar donde se encuentran los principales peligros de la obra. Mediante los *prefabs* sería fácil de actualizar rápidamente, por lo que podría ser utilizado a modo informativo durante el proceso de construcción. También permiten reutilizar los elementos ya diseñados como el controlador en primera persona, o diferentes tipos de luces para otros proyectos.

Para crear los menús se necesita más tiempo. Pero una vez realizada la estructura principal, se pueden actualizar rápidamente.

CAPÍTULO 8. APLICACIÓN PARA LA FORMACIÓN EN PREVENCIÓN DE RIESGOS

8.1. Planteamiento

Después de la primera aproximación a la creación de aplicaciones en Realidad Virtual con *Unity*, se procederá a crear una aplicación destinada a la formación de trabajadores en materia de prevención de riesgos.

La aplicación consiste en simular una situación de riesgo, que puede suceder en una obra debido a una mala práctica. Se va a recrear la situación en Realidad Virtual mediante *Unity*, de manera que el usuario pueda experimentar la situación en primera persona.

El objetivo es ver la capacidad que ofrece *Unity* en la recreación de las situaciones de riesgo. En este caso se estudiará el aspecto técnico del programa para la creación de la aplicación. No se tendrá tanto en cuenta el diseño de la rutina y la interacción con el usuario de modo que sea la más óptima para potenciar el aprendizaje. Este aspecto requeriría un estudio más profundo.

8.1.1 Descripción del caso práctico

Se recrea la dinámica de trabajo habitual de un albañil. En este caso en la construcción de un edificio, se debe realizar el levantamiento de unas paredes que cubren el hueco del ascensor. Debido a una mala decisión de otro operario, se crea una situación de riesgo inesperada para el albañil. El proceso se dividiría en los siguientes pasos:

- Situación 1: El trabajador sube por la escalera **A** ya construida. Su trabajo es levantar las paredes **B**; las cuales ejecuta 3ml de pared diaria en toda su altura.

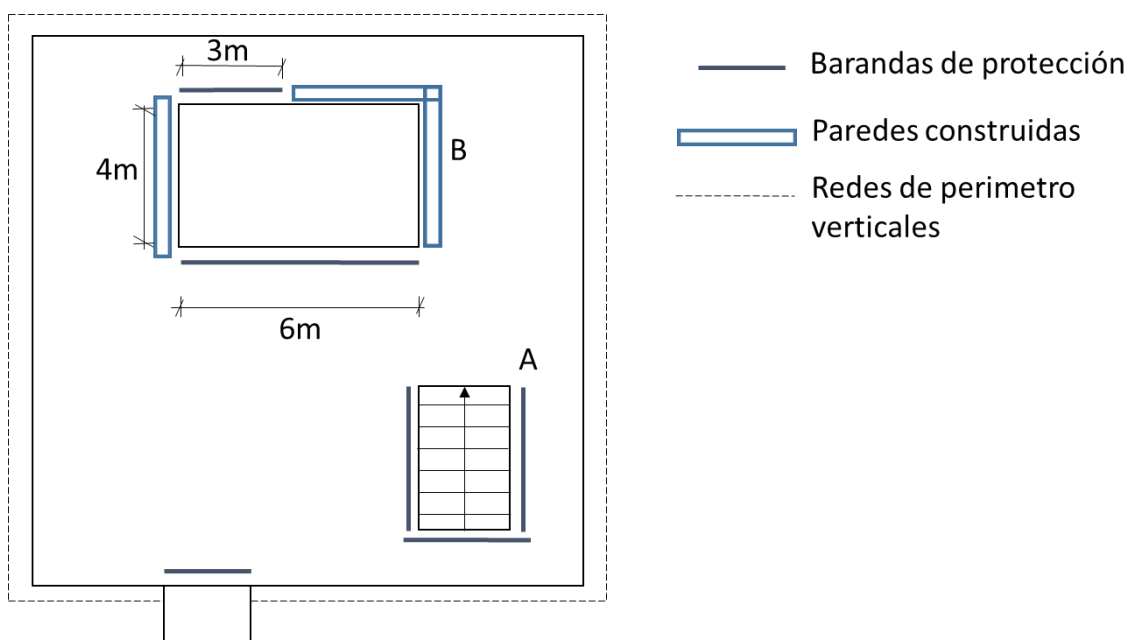


Fig. 37 Situación inicial del caso práctico

- Situación 2: En cierto momento de la construcción según la secuencia anterior, otra empresa que trabaja en la obra, decide no utilizar la plataforma **C** para entrar los materiales a la planta, sino que lo hace practicando un hueco en la red de perímetro. Ya se acabado la pared **D**.

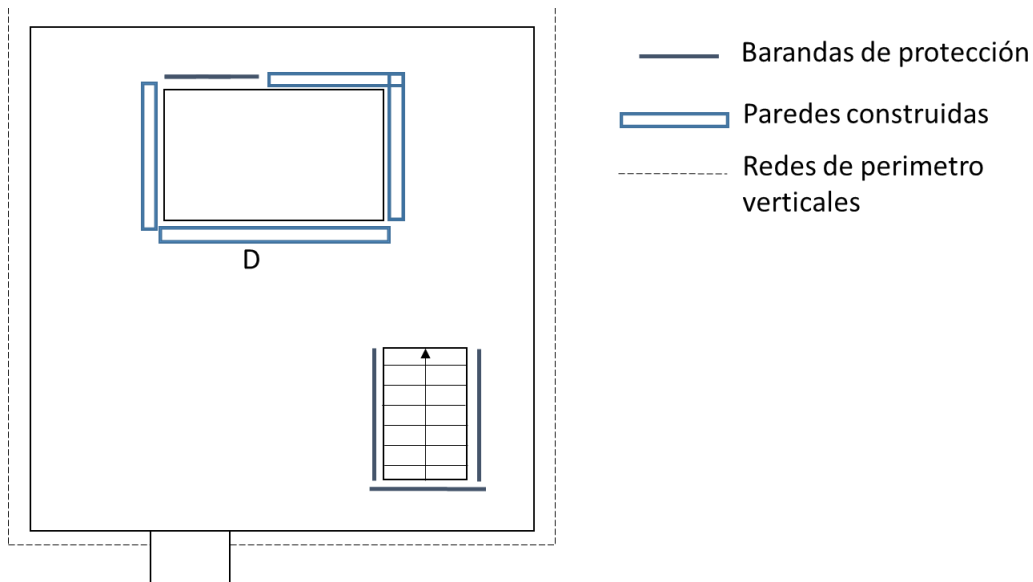


Fig. 38 Situación 2 del caso práctico

- Situación 3: Simultáneamente se coloca la baranda **E** porque se realizarán unos trabajos en el pavimento de la zona **F** que no permite que los operarios pisen ahí. La zona desprotegida **G**: se ha deshilado la parte inferior y tras la entrada de material **H** no se ha vuelto a realizar el cosido de la parte inferior. El operario al ir por la ruta **I** a construir la pared que falta **J**, no ve que la red de perímetro esta tiene un agujero. Por lo tanto, al pasar por **K** no sabe que hay un riesgo de caída en altura al exterior.

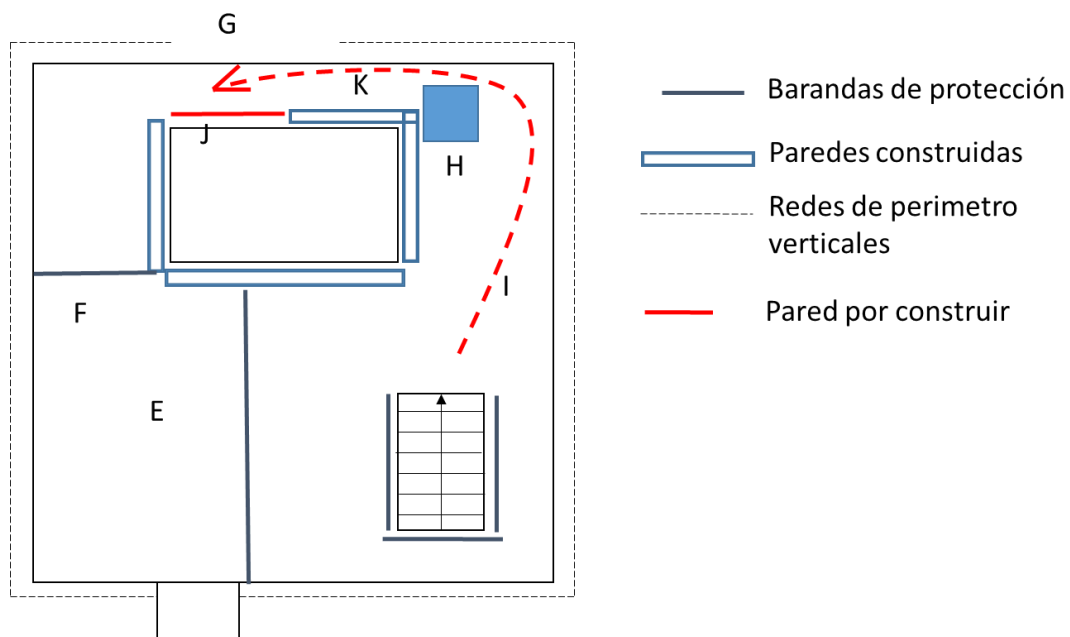


Fig. 39 Situación 3 del caso práctico

Aunque es una situación de peligro que si siguiera la normativa no se produciría, se podría decir que sucede habitualmente en obras debido a la poca coordinación de las diferentes empresas. Esta simulación puede servir para concienciar las dos partes:

- El trabajador que construye la pared puede aprender que, aunque en teoría las medidas de seguridad deberían estar bien implementadas, pueden suceder situaciones donde se crean riesgos por diferentes motivos. Por lo que no se puede confiar en estas completamente y tiene que estar atento.
- También puede ayudar a concienciar la persona que ha abierto el agujero para descargar materiales. Es necesario señalizar y proteger un agujero, aunque esté abierto por un tiempo muy corto. Ya que, aunque él es consciente del peligro, en la obra trabajan más personas y se pueden poner en riesgo.

8.2. Fases del trabajo

El flujo de trabajo es muy similar al caso anterior

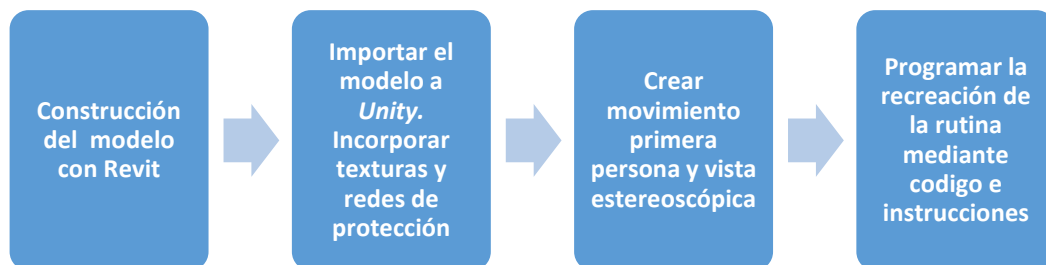


Fig. 40 Flujo de trabajo

8.2.1. Creación del modelo

Se ha creado un modelo simple de dos plantas de un edificio con *Revit*, para recrear la situación planteada anteriormente.

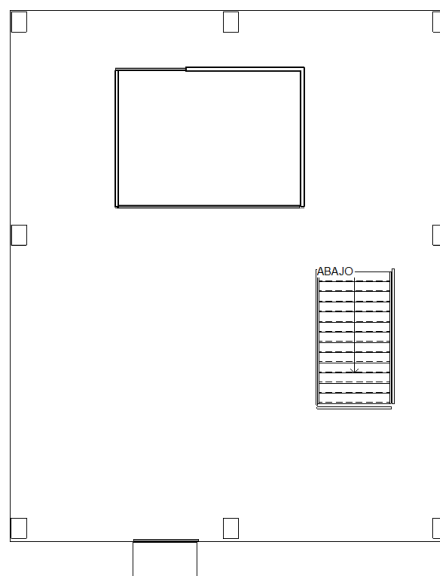


Fig. 41 Vista en planta del modelo práctico en Revit.

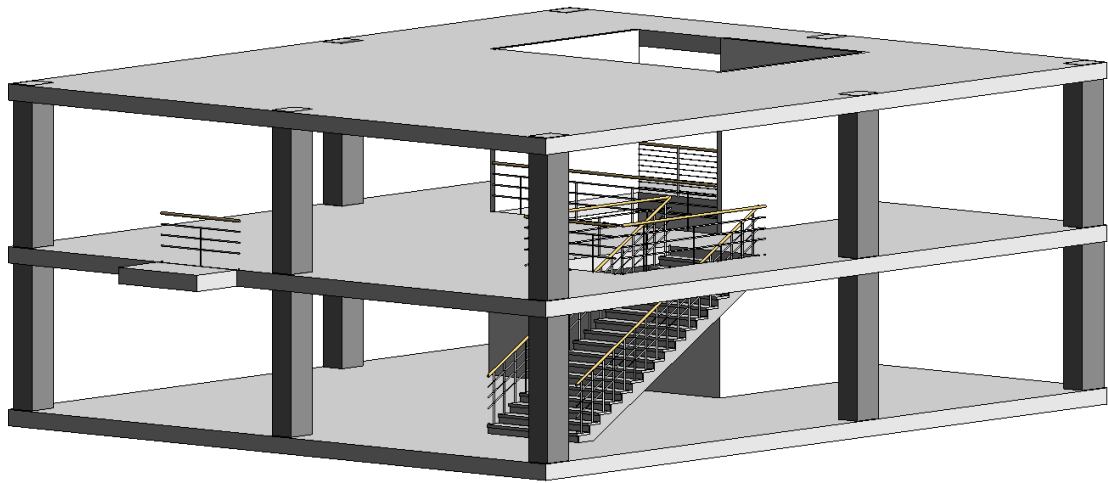


Fig. 42 Vista 3D del modelo practico en Revit.

Este modelo lo exportamos en formato *.fbx* para poder importarlo en *Unity*. En caso de tener muchas texturas incorporadas, y quisiéramos conservarlas al importar el modelo en *Unity*, deberíamos abrir el modelo en el programa 3ds Max y hacer una conversión de las texturas. En este caso concreto aplicaremos las texturas directamente en *Unity*.

8.2.2. Importación a *Unity*

Importamos el modelo en un nuevo proyecto de *Unity*. Marcamos la pestaña de generar *colliders* y aplicamos los cambios. De este modo se reconocerá la geometría del modelo y colisionaremos al entrar en contacto.

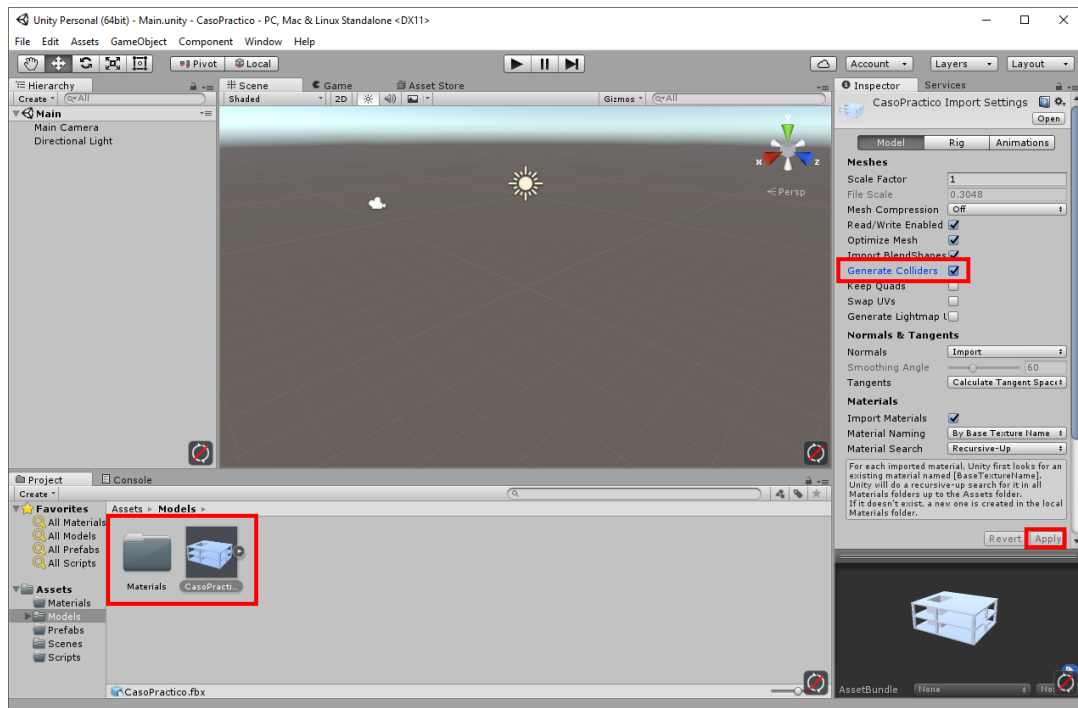


Fig. 43 Generar colliders para el modelo importado.

Introducimos nuestro modelo directamente dentro de la escena y se incorporan texturas al modelo para mejorar la visualización.

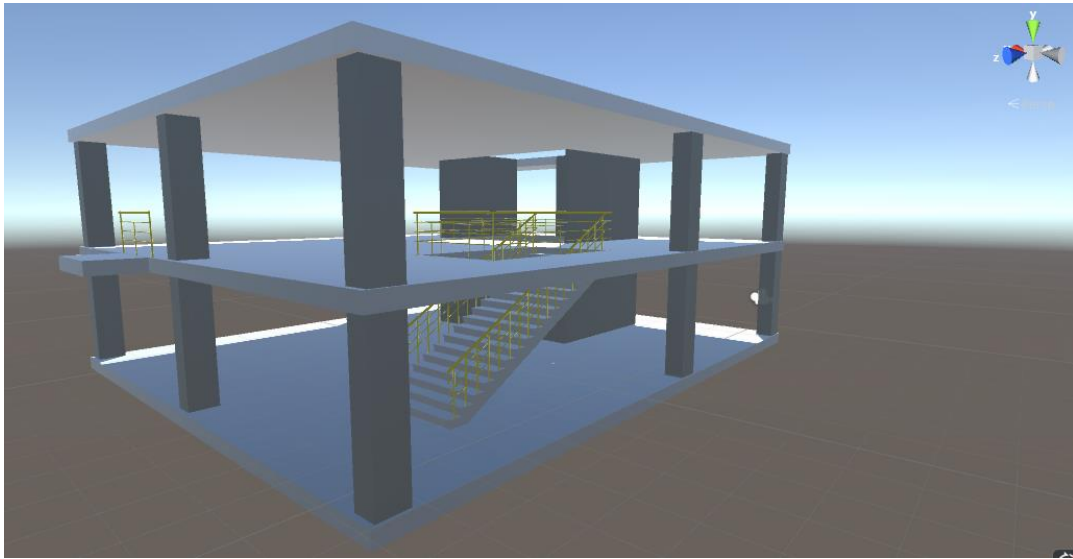


Fig. 44 Estructura con texturas

Introducimos las redes de protección mediante planos e introduciéndoles una textura. Para la textura utilizaremos el paquete de materiales *Yughues Free Grids & Nets Materials* de la tienda de Unity⁹.

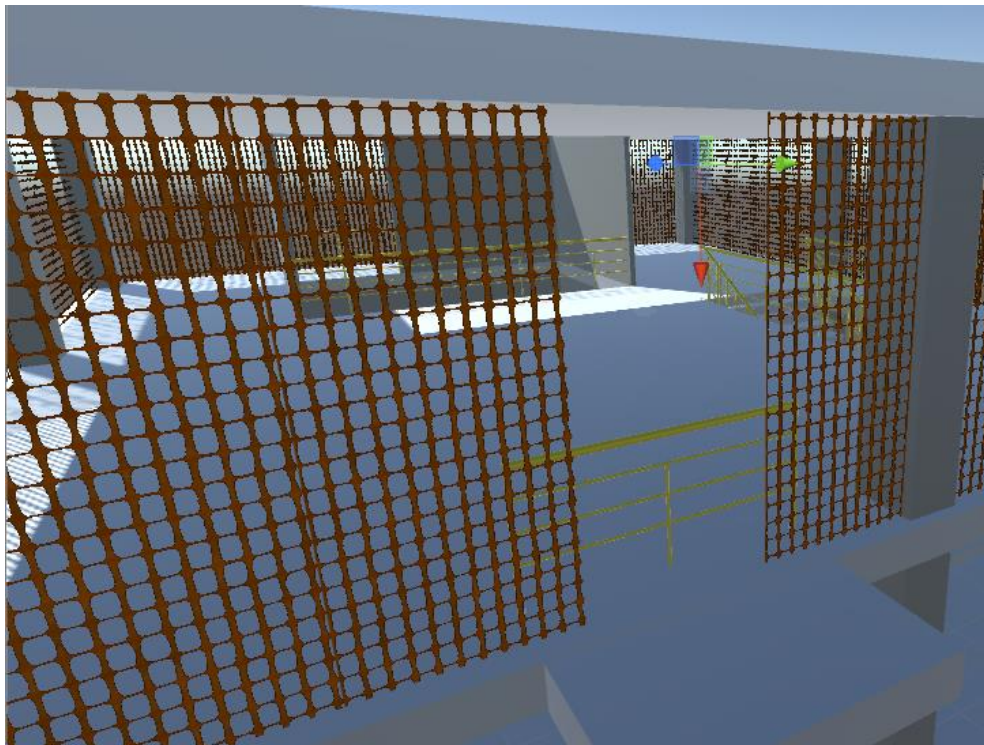


Fig. 45 Estructura con medidas de seguridad.

Introducimos un controlador en primera persona, para podernos mover por el modelo. El que hemos usado, es el ya proporcionado por Unity en los *Standard Assets*.

⁹ <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/13004>

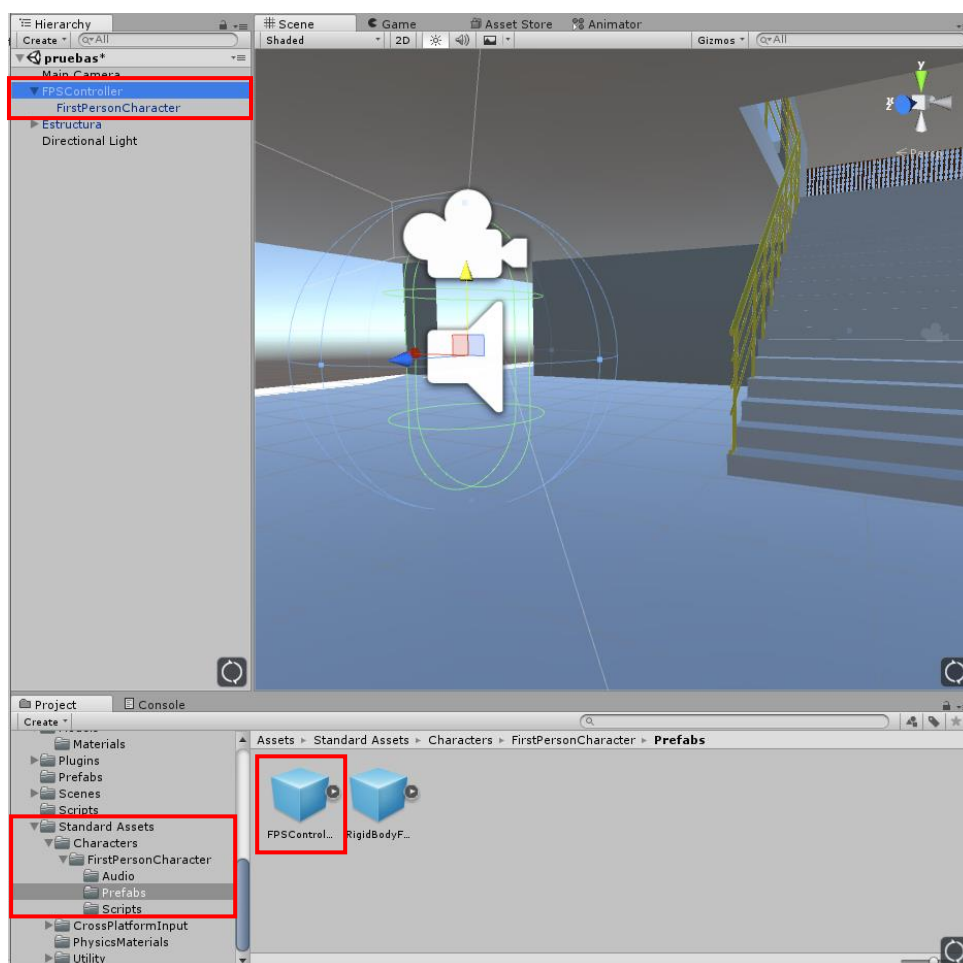


Fig. 46 Introducción movimiento en primera persona.

8.2.3. Adaptar a Realidad Virtual

Como no disponemos de un HDM para hacer las pruebas, en este segundo caso hemos construido la aplicación para ser visualizado en un móvil con una *cardboard*. Para poder construir con una *cardboard*, se tiene que instalar el *Unity Daydream technical preview*¹⁰.

Para facilitar la construcción de la aplicación con la *cardboard* en *Unity*, google proporciona una serie de herramientas (*Google VR SDK for Unity*¹¹)

Para adaptar la aplicación a VR, incorporamos el *prefab GvrMain* a nuestro controlador en primera persona, y desactivamos la cámara que este tenía. Con esta acción ya tenemos aplicada la visión estereoscópica en nuestra cámara.

¹⁰ <https://unity3d.com/es/partners/google/daydream#section-download>

¹¹ <https://developers.google.com/vr/unity/download#google-vr-sdk-for-unity>

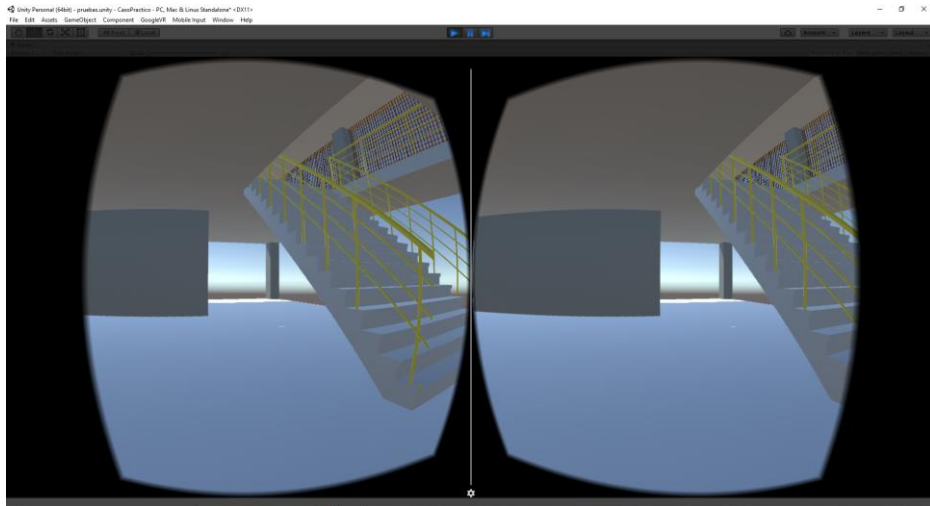


Fig. 47 Visión estereoscópica de la cardboard.

Para poder interactuar con el entorno, utilizamos una clase de input que se direcciona con la mirada. Para ello añadimos el prefab *GvrReticle* a nuestra cámara. Este es un punto que nos indicara cuando podemos interactuar con algún elemento. Añadimos un *Raycast* para poder dar inputs mediante este *reticle*. Finalmente añadimos el script *Gaze Input Module* a el *Event System* de modo que los inputs serán reconocidos por el sistema. Cuando detecta un objeto con un componente *Event Trigger*, el punto se expande indicando que puede interaccionar con el objeto, ejecutando el input necesario (pulsando un botón o una tecla)

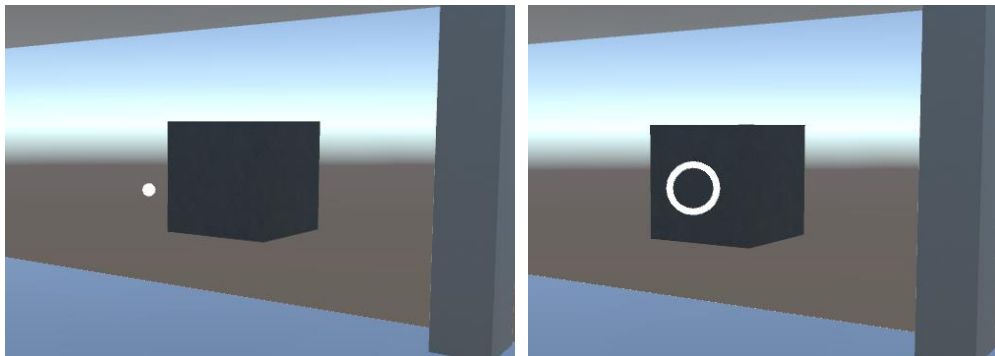


Fig. 48 Interacción con objetos mediante un input dirigido con la mirada.

8.3. Recorrido a seguir por el usuario

La aplicación pretende recrear la situación de peligro dentro de una rutina de un trabajador. Para ello no solo recrearemos una visualización del peligro por sí mismo, sino que recrearemos todo el proceso de trabajo. Para ello nos ayudaremos de mensajes para indicar al trabajador que trabajo se tiene que realizar.

Las imágenes para describir el proceso no estarán en visión estereoscópica para facilitar su visualización, pero la aplicación final si lo estará.

Se seguirá el siguiente proceso:

- 1- Indicar al trabajador que suba a la primera planta.
- 2- Informar al trabajador de la situación de la plataforma de descarga.
- 3- Construir el muro del hueco del ascensor.
- 4- Jornada terminada volver primera planta. Marcar el siguiente día/suceso.

- 5- Informar al trabajador de la pavimentación de una parte del suelo del primer piso.
- 6- Indicar al trabajador que termine el muro que falta por construir.
- 7- El trabajador se encuentra con el peligro.
- 8- Informar el motivo del peligro.

1. Indicar al trabajador que suba a la primera planta

Al iniciar la aplicación se le tiene que indicar al usuario que suba a la primera planta para poder realizar los trabajos necesarios. Para ello utilizaremos un mensaje, que se activara solo empezar y se desactivara al subir la escalera. Para que el texto se pueda visualizar bien, tiene que estar asociado al controlador en primera persona. El *canvas* donde está situado el texto no puede estar sobrepuesto en la pantalla o la cámara tiene que ser un objeto más del mundo virtual, pero vinculado al movimiento de la cámara del controlador. Asociaremos el *canvas* como “hijo” de la cámara y escogeremos la opción *WorldSpace* del *Render Mode*.

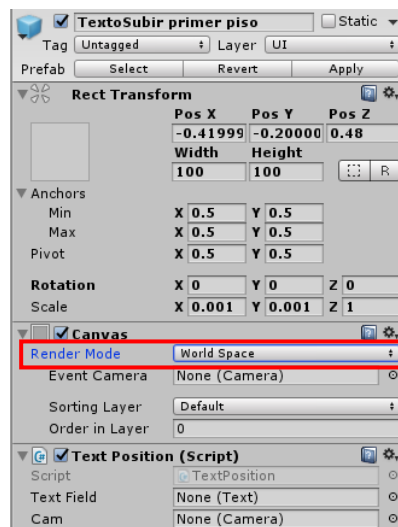


Fig. 49 Configurar canvas de los textos visualizados en Realidad Virtual.

Para acabar de que el texto se quede centrado en un punto de la visión miremos donde miremos, le asociamos un *script*. (ANEXO V)

Para desactivar el texto al subir al primer piso, creamos un cubo y lo situamos adaptando su forma a la escalera. Desactivamos el *Mesh Renderer* y nos quedamos con el *box collider*. Marcamos la casilla *Is Trigger*. Asociamos un script que desactive el texto cuando el controlador entre dentro del *collider*.

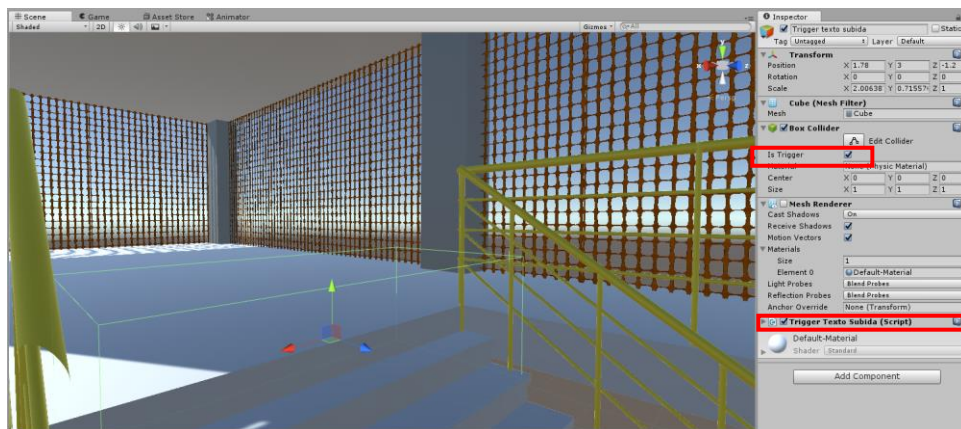


Fig. 50 Trigger para desactivar el texto.

2. Informar al trabajador de la situación de la plataforma de descarga

Para informar al trabajador de la situación de la plataforma de descarga, creamos un *trigger* similar al anterior, pero con una luz para indicar su situación y se activa con el seleccionándolo con la mirada y apretando el botón de entrada.

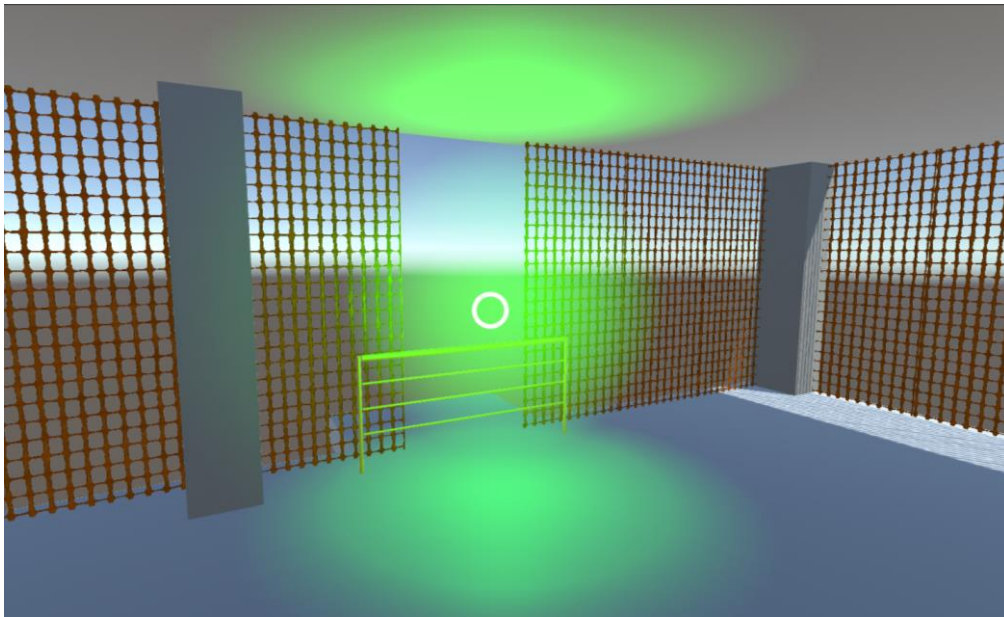


Fig. 51 Informar situación de la plataforma de descarga.

Al accionar el botón nos aparece una pantalla UI con una explicación:

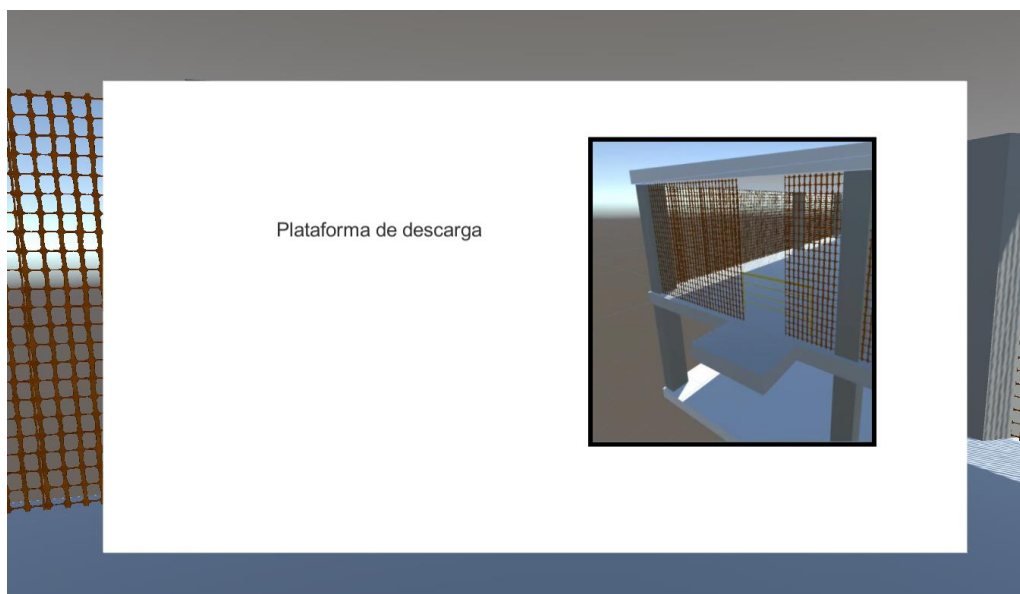


Fig. 52 Información plataforma descarga.

Al volver a accionar el botón la pantalla desaparece y se activa el *trigger* de construir el muro.

3. Construir el muro del hueco del ascensor

El *trigger* para empezar la construcción del muro, es similar al anterior tiene el mismo funcionamiento:

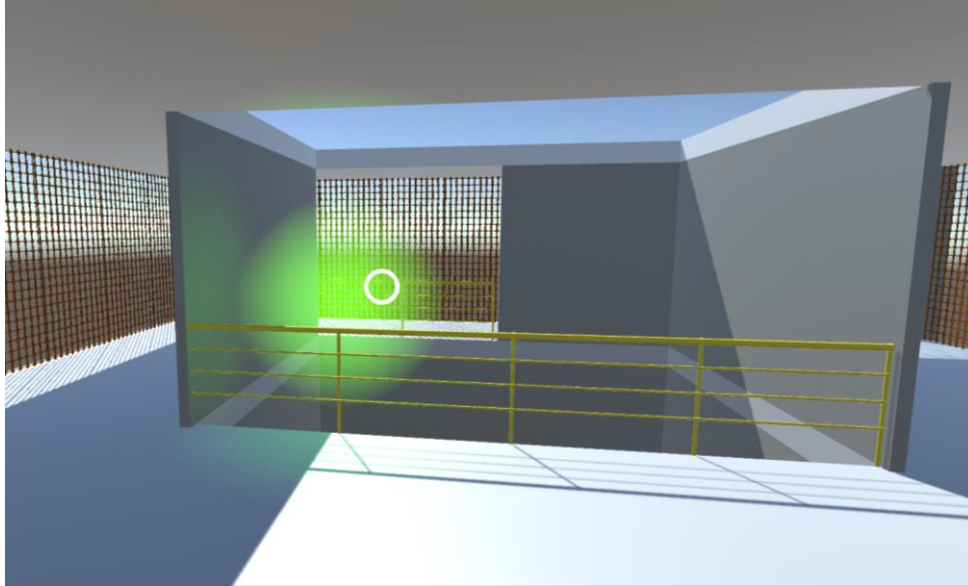


Fig. 53 Trigger construcción del muro.

Al accionarlo, aparece una ventana de información con las instrucciones para construir el muro.

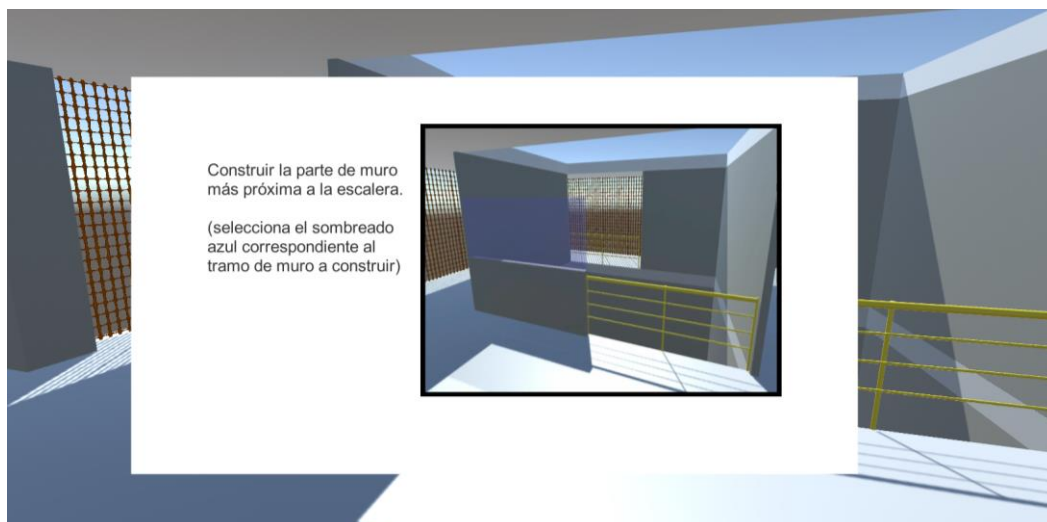


Fig. 54 Instrucciones construcción muro.

Para construir el muro se tiene que ir seleccionando el trozo de muro en sombreado azul y accionar el botón. Al realizar esta acción suceden dos cosas: se cambia el material del tramo de muro para simular su construcción, y se activa el siguiente tramo a construir de manera que es visible.

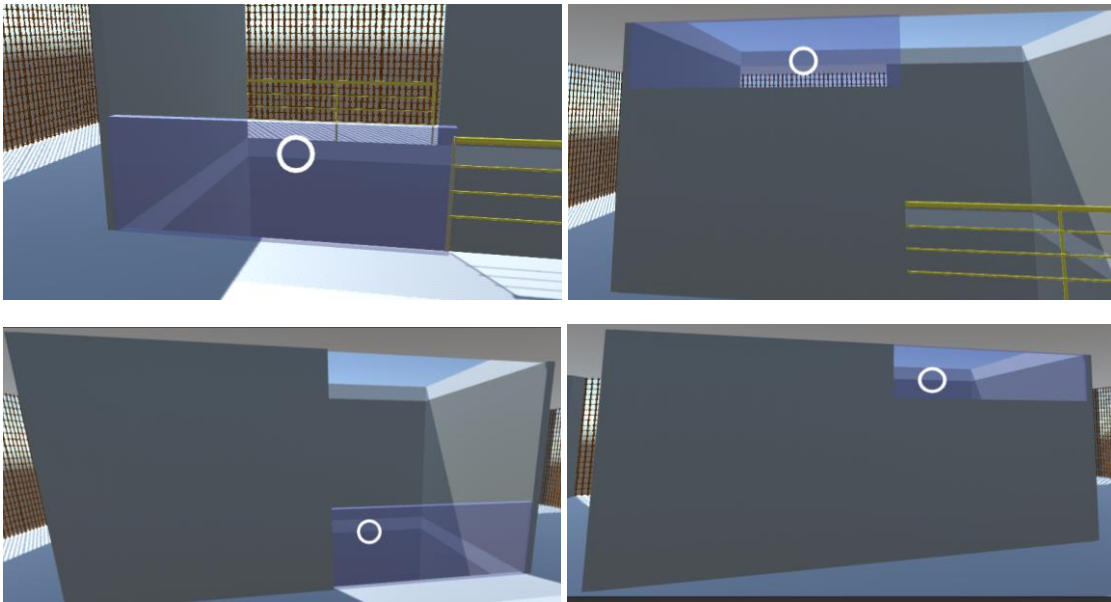


Fig. 55 Proceso construcción muro ascensor.

4. Jornada terminada volver primera planta. Marcar el siguiente día/suceso

Cuando se ha acabado de construir el muro aparece un mensaje indicando que se ha acabado y que hay que volver al primer piso para marcar el botón de *día 2*. Esta acción es para simular la variación temporal de la obra.

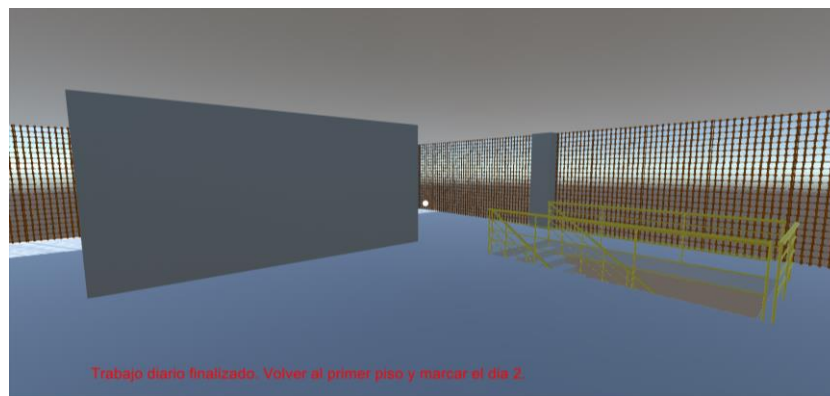


Fig. 56 Mensaje aviso para volver al primer piso y avanzar al siguiente día.

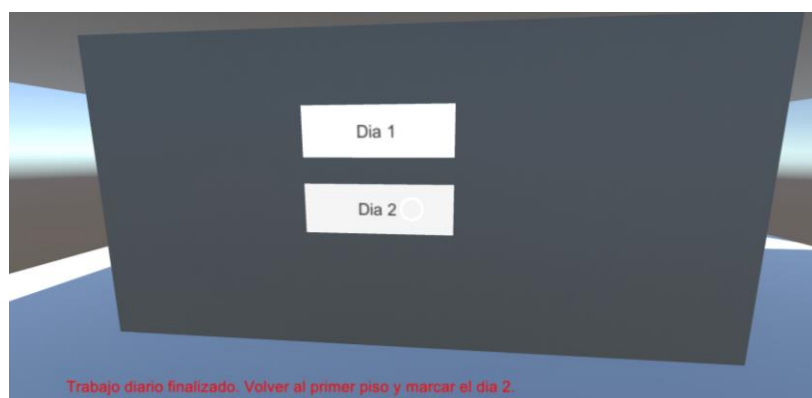


Fig. 57 Accionar Día 2 para pasar a la siguiente situación.

5. Informar al trabajador de la pavimentación de una parte del suelo del primer piso.

Al accionar *Día 2* se abre una ventana de información indicándo que una parte del primer piso se está pavimentando por lo que no se puede pasar.

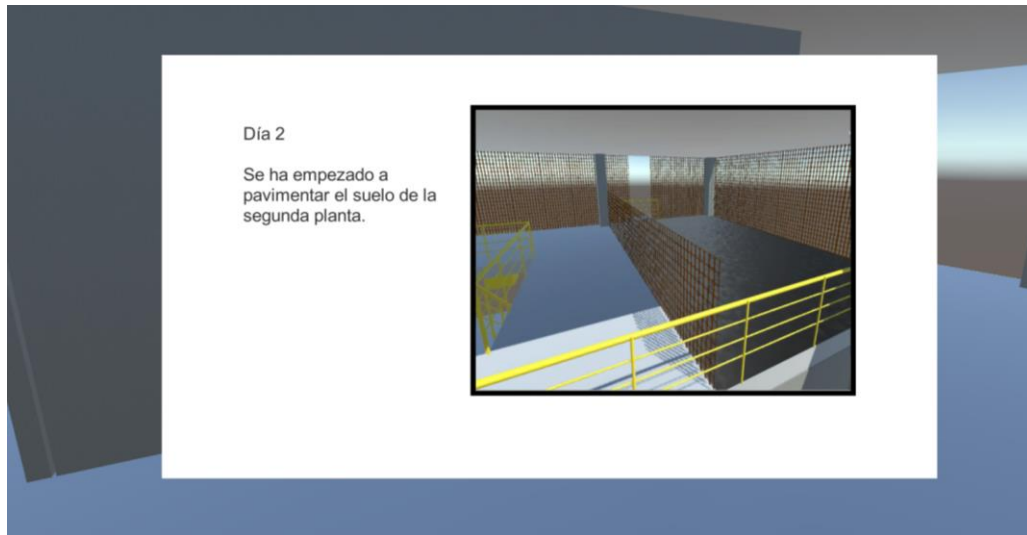


Fig. 58 Ventana informando el pavimentado de la primera planta.

6. Indicar al trabajador que termine el muro que falta por construir

Cuando se vuelve a accionar un botón, se cierra la ventana de información y aparece un mensaje comunicando que hay que volver a subir al primer piso para construir la parte del muro que falta. Este mensaje se desactiva de la misma manera que el primero: al subir la escalera y entrar en el *trigger*.

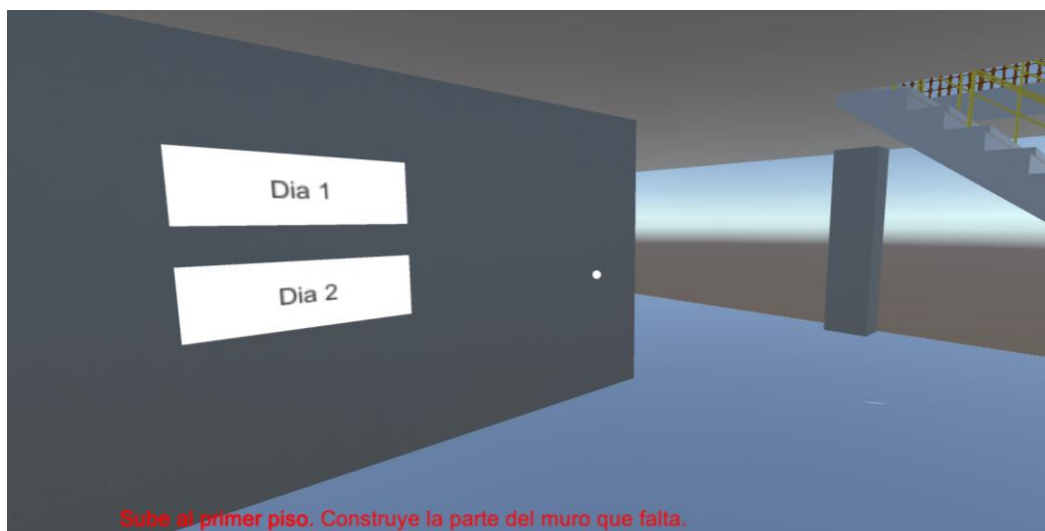


Fig. 59 Mensaje informando de acabar de construir el muro.

7. El trabajador se encuentra con el peligro

Al volver al primer piso, comprobamos que una zona está pavimentándose, por lo que solo podemos acceder por un lado del edificio a construir la parte del muro que falta.

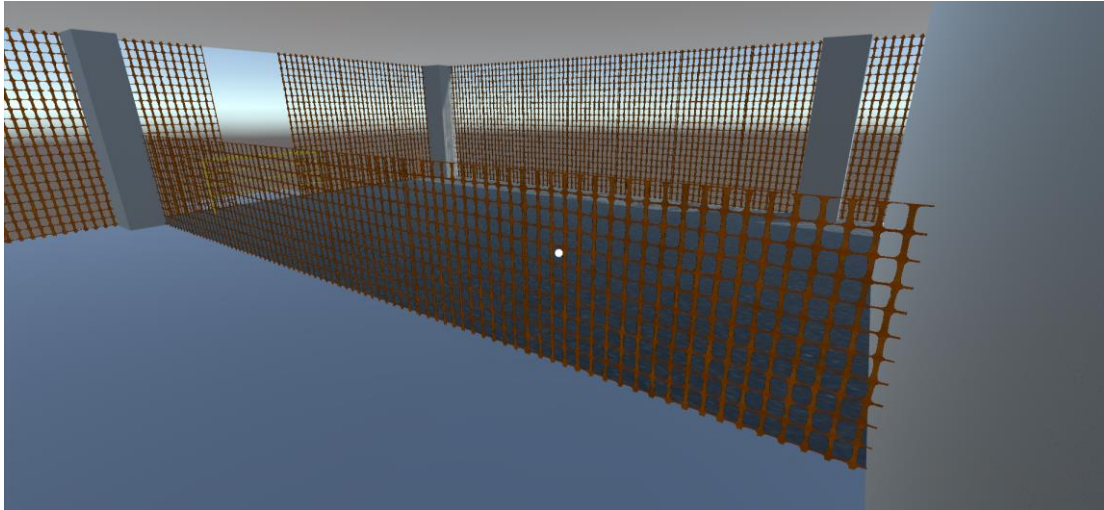


Fig. 60 Zona pavimentándose.

Debido a la falta de visibilidad causada por la estrechez del paso y el pilar, además de estar con la mirada en el *trigger* que activa la construcción del trozo muro que falta, no se ve que una parte de la red tiene un agujero hasta que se pasa por el lado, incluso si no estamos atentos podríamos pasárnosla por alto, causando una situación de peligro.

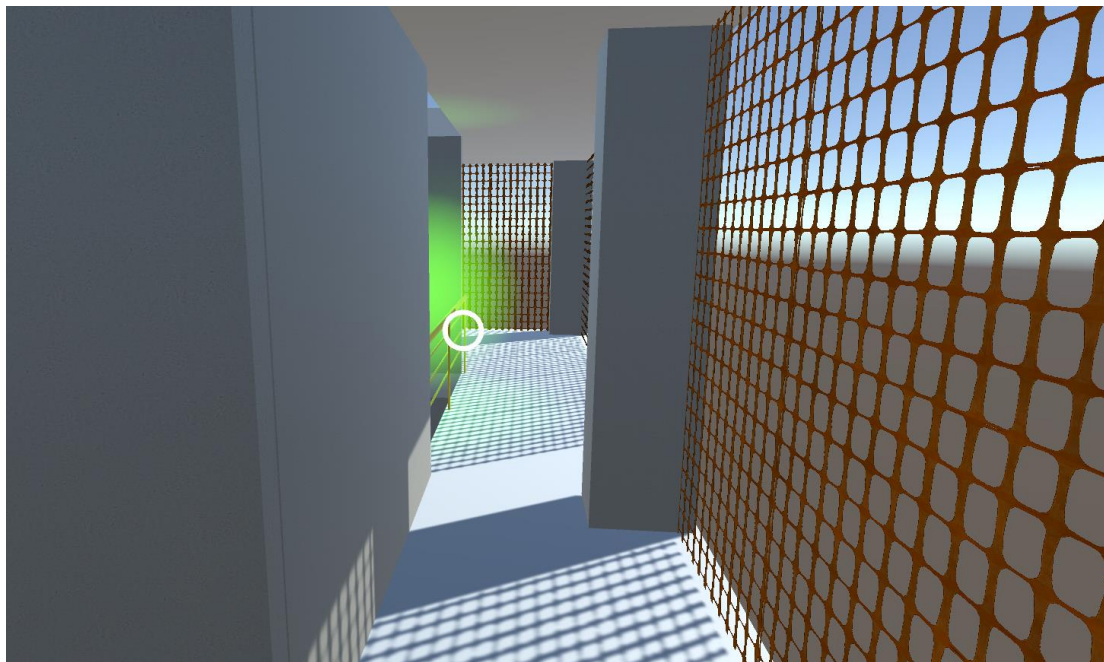


Fig. 61 Poca visibilidad en la zona de peligro.

Para avisar al usuario de la situación y que se dé cuenta, se ha introducido un *trigger* que al entrar dentro de se activa una alerta en forma de texto y un sonido en forma de pitido.

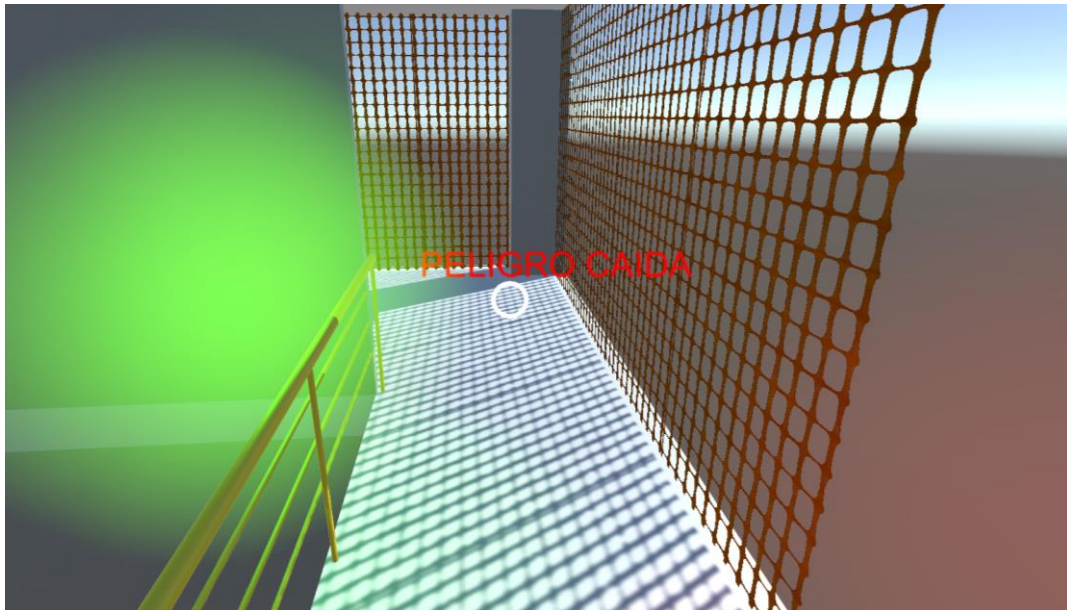


Fig. 62 Alerta peligro de caída

8. Informar el motivo del peligro

Al interactuar con el *trigger* de peligro, indicado con una luz roja, que se activa al pasar por su lado, se abre una ventana de información.

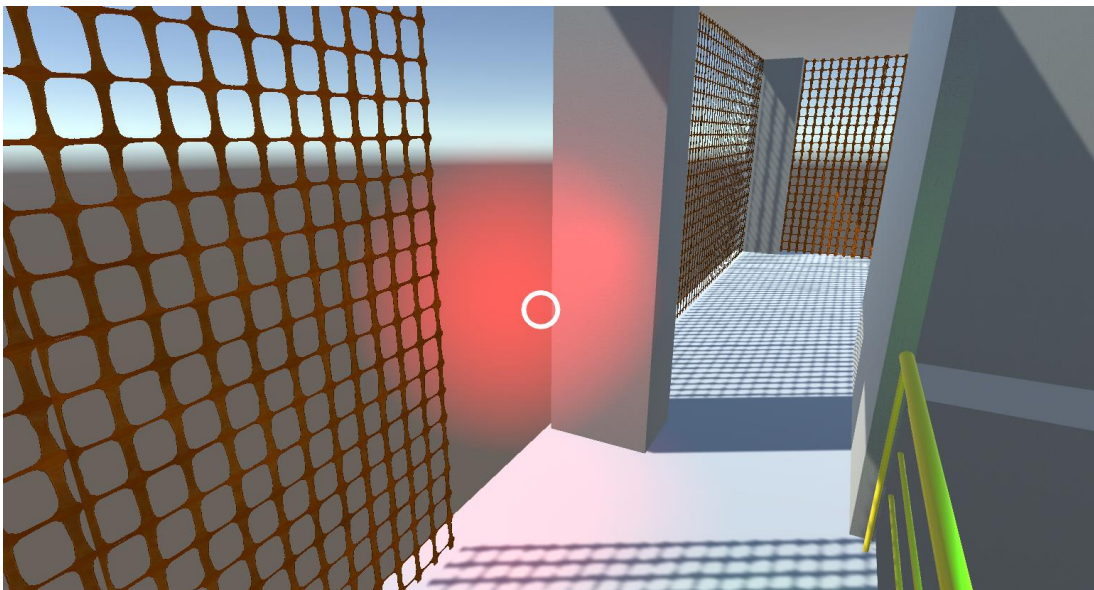


Fig. 63 Situación del peligro indicada por una luz.

La ventana de información explica que debido una mayor comodidad para descargar los materiales, se ha improvisado una nueva un la otra cara del edificio. Debido a la falta de comunicación entre empresas, no se ha comunicado de este cambio resultando en una posible situación de riesgo para el trabajador que tiene que terminar el muro.



Fig. 64 Información causa del peligro.

Para interactuar con el usuario e indicarle que acciones debe realizar o avisarle del peligro, se han utilizado diferentes elementos:

- Visuales: se han utilizado diferentes ventanas informativas para comunicar mensajes y enseñar imágenes al usuario, también se han utilizado textos para indicar instrucciones o avisar del peligro. Además, se ha utilizado luces para marcar un punto y atraer la atención del usuario y que vaya hasta ese punto. También luces de alerta al entrar en peligro.
- Auditivos: al entrar en peligro se activa un audio en forma de pitido para reforzar la sorpresa.

8.4. Construcción de la aplicación

Una vez se ha acabado de recrear todas las acciones necesarias, falta construir la aplicación para ser utilizada. En este caso se ha construido para un *Smartphone*, y poder visualizarla mediante una *Cardboard*. Para ello en la ventana *Build Settings* (*File > Build Settings*) se selecciona la plataforma en la que se construirá la aplicación y las escenas a incluir. En este caso Solo hay una escena y se selecciona la plataforma *Android*. Para iniciar la construcción de la aplicación, seleccionamos el botón *Build*.

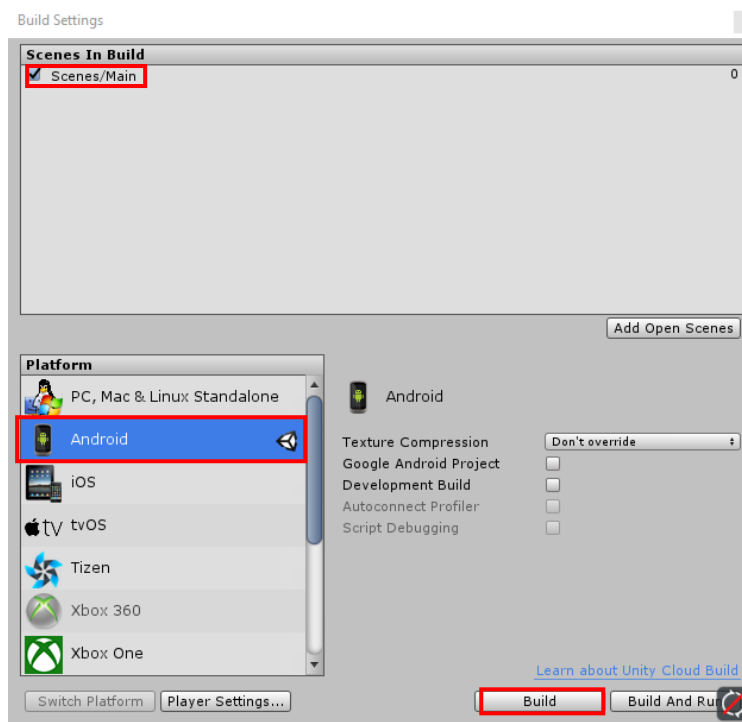


Fig. 65 Ventana Build Settings

Una vez ha finalizado el proceso, *Unity* crea un archivo *apk* que se puede instalar en un dispositivo Android. El dispositivo utilizado no tenía suficiente potencia para ejecutar la aplicación de forma eficiente. No obstante, se han hecho pruebas utilizando solo el modelo simplificado recorriendo el entorno funcionando correctamente. Sería necesario un Smartphone con mayor potencia o crear la aplicación para ser utilizada en un ordenador con unas gafas de Realidad Virtual.

8.5. Resultados

Unity permite una gran variedad de posibilidades para recrear infinidad de casos diferentes. Tiene bastante libertad a la hora de programar las acciones que queremos simular. También se pueden crear aplicaciones para diferentes plataformas y dispositivos. Por lo que es una buena herramienta para crear aplicaciones de este estilo.

En la aplicación, se han utilizado diferentes herramientas para ver las posibilidades del programa. Incluyendo diferentes maneras de comunicar las instrucciones con el usuario y estímulos en forma de respuesta. El resultado ha sido una aplicación con una función más informativa que de entrenamiento. No obstante, ofrece una experiencia más real que explicar la situación teóricamente. El usuario puede vivir la situación y comprobar que el peligro puede suceder sin que él lo haya visto previamente. Además, para completar el recorrido se debe estar atento por lo que te aseguras que el usuario recibe el mensaje.

Al crear una aplicación de entrenamiento se debería estudiar cual es el mejor método para que el contenido sea aprendido y recordado por los trabajadores. La interacción con el usuario debería tener un estudio previo más profundo. Para definir qué estímulos pueden ser más útiles para que el aprendizaje: saber si es mejor dar instrucciones continuamente o si el usuario debe ser libre para elegir que acción hacer. Otro aspecto a estudiar qué respuesta se obtiene al entrar en peligro. Estudiar que estímulos son mejores para que el trabajador recuerde la situación.

Con el objetivo de realizar pruebas por terceras personas, se ha construido para ser usada en un Smartphone con una *Cardboard*. El dispositivo no tenía una potencia suficiente, por lo que el rendimiento y visualización son muy bajos. La aplicación no podía ejecutarse eficientemente por lo que no era funcional. Debido a este motivo no se han podido realizar pruebas prácticas por parte de terceras personas.

La aplicación puede adaptarse fácilmente para ser usada mediante unas gafas de Realidad Virtual más potentes (HMD) como pueden ser unas Oculus Rift. Pero al no disponer del equipo necesario y la falta de tiempo no se han podido realizar las pruebas.

CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

9.1. Conclusiones

Como se ha descrito al inicio del trabajo, la gestión de la seguridad en el sector de la construcción ha avanzado mucho desde la aprobación de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, ayudando a mejorar las condiciones de seguridad en las obras, y como consecuencia, ha reducido el número de accidentes producidos. No obstante, hay un cambio de tendencia desde 2013 con el consiguiente incremento de los accidentes. Debido a que las medidas actuales, si bien han funcionado, parece estar llegando a su límite en cuanto a efectividad. En este sentido, buscando diferentes herramientas para mejorar la seguridad, este trabajo plantea qué posibilidades ofrece la Realidad Virtual en este aspecto. De forma global, se ha comprobado que efectivamente la Realidad Virtual es una herramienta que puede tener mucho recorrido en este sector.

La capacidad de inmersión de la Realidad Virtual permite entrar dentro de modelos virtuales, moverse en primera persona e interactuar con el entorno. Estas características abren diferentes posibilidades para contribuir a mejorar la seguridad en las obras. Al inicio del trabajo se establecieron dos áreas donde estudiar su uso: la compatibilidad de la Realidad Virtual dentro de la metodología BIM y la creación de entornos virtuales dedicados a la formación en prevención de riesgos, concluyendo que se han cumplido las previsiones iniciales.

Actualmente los programas de BIM no permiten realizar visitas en Realidad Virtual dentro de los modelos, provocando la exportación de los modelos a otro programa. En el mercado existen diferentes opciones software para construir aplicaciones en Realidad Virtual, como por ejemplo el utilizado para realizar este trabajo, denominado *Unity*. Este programa tiene diferentes configuraciones que facilitan el desarrollo de la aplicación en Realidad Virtual. Después de las pruebas realizadas se puede afirmar que es una buena herramienta para la realización de los casos de estudio propuestos inicialmente.

Después de importar un modelo generado por *Revit* a *Unity*, se puede decir que existe una buena compatibilidad entre *Unity* y los modelos generados mediante el flujo de trabajo de BIM. No obstante, la importación no es directa y por cuestiones de compatibilidad de formatos, es necesaria una adaptación intermedia mediante 3ds Max. Una automatización de este proceso favorecería el uso de la Realidad Virtual, ya que una vez importado, el resto de acciones a realizar en *Unity* son fáciles de introducir mediante *prefabs*. Un ejemplo sería el movimiento en primera persona: una vez se ha programado adecuadamente se puede reutilizar en diferentes proyectos fácilmente.

Unity permite programar mediante código cualquier acción a realizar en la aplicación, permitiendo una infinidad de posibilidades en la interacción con el modelo. En este sentido se han implementado una serie de menús donde poder activar y desactivar capas del modelo, así poder ver diferentes estados del proceso de construcción cuando se está usando la aplicación. También se ha establecido un sistema de alertas: al entrar en las zonas marcadas como peligrosas, se activan diferentes tipos de respuestas como pueden ser señales de audio, mensajes de texto, vibración del controlador o cambio de luces permitiendo marcar la posición donde están situados los riesgos con el objetivo de informar a los trabajadores.

También se ha podido comprobar la gran variedad de posibilidades de iluminación en tiempo real que tiene *Unity* permitiendo recrear tanto el movimiento del sol como luces artificiales. Este aspecto es interesante en las fases de diseño del proyecto, y además puede ayudar a definir medidas adecuadas de cara a evitar situaciones de riesgo causadas por deslumbramiento.

El uso de la Realidad Virtual para la formación de trabajadores permite realizar entrenamientos prácticos de situaciones poco habituales pudiendo recrear cualquier situación de obra y permitiendo experimentar la situación de riesgo sin que suponga ningún peligro. Se ha comprobado que *Unity* tiene la capacidad para recrear cualquier situación de trabajo e introducir diferentes tipos de riesgos, pudiendo implementar diferentes maneras de comunicar las instrucciones a seguir y respondiendo con diferentes estímulos en función de las acciones realizadas. En general es un programa adecuado para realizar cualquier tipo de aplicación de Realidad Virtual.

No se ha podido realizar una prueba práctica por la falta de tiempo y disponibilidad del material necesario (gafas de Realidad Virtual y equipo con potencia necesaria). Se intentó suplir utilizando un *Smartphone*, pero no disponía de una potencia suficiente para ejecutar la aplicación correctamente.

De cara a una implementación de una formación en prevención de riesgos laborales mediante Realidad Virtual, serían necesarios ordenadores con suficiente capacidad para utilizar gafas especializadas. Estas aplicaciones podrían ser utilizadas en los cursos de formación o de manera periódica para recordar y aumentar el conocimiento en prevención de riesgos. No obstante, teniendo en cuenta el rápido progreso de la tecnología, es previsible que dentro de pocos años los Smartphone tengan una capacidad óptima para ejecutar estas aplicaciones con una calidad suficiente, facilitando la implementación de estos métodos de formación.

9.2. Futuras líneas de investigación

Este trabajo se ha centrado más en el aspecto técnico de las herramientas para crear aplicaciones la Realidad Virtual y sus posibles usos en la seguridad de las obras. De cara a futuras investigaciones se aconseja centrar la atención en aspectos como el diseño de las aplicaciones y en pruebas prácticas.

En la creación de entornos virtuales para la formación, se deberían analizar con más profundidad los aspectos siguientes:

- Diseño adecuado del entorno virtual para permitir una movilidad fácil e intuitiva. Estudiar diferentes métodos de comunicar las instrucciones evitando que todo guiado (ya que puede provocar la desconcentración) y permitiendo que el usuario pueda decidir por uno mismo. De este modo recrear una experiencia más activa que exija una atención constante para poder avanzar correctamente.
- Estudiar que dispositivos de entrada y tipos de interacciones con el modelo utilizar. De modo que sea fácil y rápido de aprender su uso.
- Profundizar en los aspectos de neurociencia y psicológicos, del proceso de aprendizaje, con el objetivo de diseñar mejor la aplicación (determinar que estímulos dar al usuario, cómo transmitir la información, etc.).
- Realizar pruebas con diferentes usuarios para ver cómo se adaptan a la aplicación.
- Estudiar qué método de puntuación usar para puntuar los resultados de los trabajadores obtenidos en la aplicación, premiando a aquellos que consigan mejores resultados con el fin de motivarlos a seguir correctamente la formación.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Organización Internacional del Trabajo, «Seguridad y salud en el trabajo,» 19 05 2016. [En línea]. Available: <http://www.ilo.org/global/standards/subjects-covered-by-international-labour-standards/occupational-safety-and-health/lang--es/index.htm>.
- [2] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, «Grupo de Trabajo en Construcción de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo,» [En línea]. Available: <http://www.insht.es/>. [Último acceso: 19 05 2016].
- [3] R. Sacks, A. Perlman y R. Barak, «Construction safety training using immersive virtual reality,» *Construction Management and Economics*, vol. 31, nº 9, pp. 1005-1017, 2013.
- [4] H. Xie, M. E. Tudoreanu y W. Shi, «Development of a Virtual Reality Safety-Training System for Construction Workers,» de *6th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, Orlando, FL, 2006.
- [5] «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Prevenci%C3%B3n_de_riesgos_laborales. [Último acceso: 2016 11 15].
- [6] Proalt Ingeniería, [En línea]. Available: <http://www.proalt.es/formacion-sobre-prevencion-de-riesgos-en-construccion/>.
- [7] «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Edgar_Dale.
- [8] «prevencionintegral,» [En línea]. Available: <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2010/formacion-practica-construccion-simulador-riesgossimulador-riesgos>.
- [9] «Prevencionar simulador-practicas-de-seguridad-en-la-construccion,» [En línea]. Available: <http://prevencionar.com/2012/01/03/simulador-practicas-de-seguridad-en-la-construccion/>.
- [10] «Wikipedia,» BIM, [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Modelado_de_informaci%C3%B3n_de_construcci%C3%B3n. [Último acceso: 28 10 2016].
- [11] ftch, [En línea]. Available: http://www.ftch.com/files/BIM_Brochure.pdf. [Último acceso: 28 10 2016].
- [12] «4mbim,» [En línea]. Available: <http://www.es.4mbim.com/what-is-bim/>. [Último acceso: 02 11 2016].
- [13] MISIBIM, «BIM Barcelona,» 13 abril 2016. [En línea]. Available: <http://www.bimbarcelona.com/bim-en-el-mundo/>. [Último acceso: 28 10 2016].
- [14] ITeC, [En línea]. Available: <http://itec.es/servicios/bim/directiva-2014-24-ue/>. [Último acceso: 22 10 2016].

- [15] European BIM Summit, 13 02 2015. [En línea]. Available: <http://europeanbimsummit.com/wp-content/uploads/2014/10/Barcelona-BIMCAT-Declaration.pdf>. [Último acceso: 22 10 2016].
- [16] ITec, [En línea]. Available: <http://itec.es/servicios/bim/comision-construimos-el-futuro/>. [Último acceso: 22 10 2016].
- [17] BIM Community, [En línea]. Available: <https://bimcommunity.com/news/load/172/cataluna-implantara-el-bim-como-solucion-a-sus-futuras-obras>. [Último acceso: 28 10 2016].
- [18] M. d. Fomento, «El Ministerio de Fomento constituye la Comisión para la implantación de la metodología BIM,» 14 07 2015. [En línea]. Available: <https://www.fomento.gob.es/MFOMBPrensa/Noticias/El-Ministerio-de-Fomento-constituye-la-Comisi%C3%B3n-la/1b9fde98-7d87-4aed-9a46-3ab230a2da4e>. [Último acceso: 22 10 2016].
- [19] D. Barista, «Building Design + Construction,» 08 Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://www.bdcnetwork.com/bim-safety-how-use-bimvdc-tools-prevent-injuries-job-site>. [Último acceso: 19 12 2016].
- [20] «Wilhelm Construction,» F.A. Wilhelm Construction Co., Inc, [En línea]. Available: <http://www.fawilhelm.com/bim-technology-can-reduce-cost-schedule-impacts/>. [Último acceso: 03 11 2016].
- [21] «Survey Identifies Current Construction Technology Trends,» ARC Document Solutions, [En línea]. Available: <http://www.prnewswire.com/news-releases/arc-document-solutions-survey-identifies-current-construction-technology-trends-300211053.html>. [Último acceso: 03 11 2016].
- [22] «Wikipedia,» Realidad virtual, [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_virtual. [Último acceso: 20 10 2016].
- [23] T. Parisi, Learning Virtual Reality, O'Reilly Media, Inc, 2015.
- [24] «Wikipedia,» CAVE, [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Cave_automatic_virtual_environment. [Último acceso: 22 10 2016].
- [25] Departament de Ciències de la Computació (UPC), [En línea]. Available: <http://www.cs.upc.edu/~virtual/SGL/guions/ArquitecturaRV.pdf>. [Último acceso: 20 07 2016].
- [26] Superdata research, 2016. [En línea]. Available: <https://www.superdataresearch.com/market-data/virtual-reality-industry-report/>. [Último acceso: 02 11 2016].
- [27] E. B. Chris Hall, «Pocket-lint,» 2016 10 21. [En línea]. Available: <http://www.pocket-lint.com/news/132945-best-vr-headsets-to-buy-in-2016-whatever-your-budget>. [Último acceso: 03 11 2016].

- [28] W. Shanklin, «New Atlas,» 19 10 2016. [En línea]. Available: <http://newatlas.com/best-vr-headsets-comparison-2016/45984/>. [Último acceso: 06 11 2016].
- [29] Microsoft, [En línea]. Available: <https://developer.microsoft.com/es-es/windows/kinect>. [Último acceso: 01 11 2016].
- [30] LeapMotion, [En línea]. Available: <https://www.leapmotion.com/>. [Último acceso: 01 11 2016].
- [31] Geomagic, [En línea]. Available: <http://www.geomagic.com/en/products-landing-pages/haptic>. [Último acceso: 20 10 2016].
- [32] CyberGlove Systems, [En línea]. Available: <http://www.cyberglovesystems.com/>. [Último acceso: 20 10 2016].
- [33] WorldViz Vizard, [En línea]. Available: <http://www.worldviz.com/vizard-virtual-reality-software/>. [Último acceso: 23 10 2016].
- [34] Virtualis, [En línea]. Available: <https://www.virtualis.com/visionary-render/>. [Último acceso: 20 10 2016].
- [35] «ACE Magazine,» 11 7 2016. [En línea]. Available: <http://www.aecmag.com/59-features/1166-virtual-reality-for-architecture-a-beginner-s-guide>. [Último acceso: 28 10 2016].
- [36] IrisVR, [En línea]. Available: <https://irisvr.com/prospect>. [Último acceso: 01 11 2016].
- [37] W. K. Jong, E. R. Frank y J. K. Richard, «An integrated theory for improved skill acquisition and retention in the three stages of learning,» 2011.
- [38] Wikipedia, «ACT-R,» [En línea]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/ACT-R>.
- [39] A. Sebok, E. Nystad y A. Drøivoldsmo, «Improving Safety and Human Performance in Maintenance and Outage Planning through Virtual Reality-based Training Systems,» 2002.
- [40] K.-C. Siu, B. J. Best, J. W. Kim, D. Oleynikov y F. E. Ritter, «Adaptive Virtual Reality Training to Optimize Military Medical Skills Acquisition and Retention,» 2016.
- [41] L. Nedel, A. Menin, J. Oliveira y A. Maciel, «Using Immersive Virtual Reality to Reduce Work Accidents in Developing Countries,» *IEEE Computer Graphics and Applications*, February 2016.
- [42] Unity, «Unity,» [En línea]. Available: <http://unity3d.com/>. [Último acceso: 9 05 2016].
- [43] Wikipedia, «Unity (software),» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Unity_\(software\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Unity_(software)). [Último acceso: 9 05 2016].
- [44] Autodesk, «Descripción revit,» [En línea]. Available: <http://www.autodesk.es/products/revit-family/overview>. [Último acceso: 09 05 2016].

- [45] Autodesk, «Descripción 3ds Max,» [En línea]. Available: <http://www.autodesk.es/products/3ds-max/overview>. [Último acceso: 09 05 2016].
- [46] L. Motion, «descripción de LeapMotion,» [En línea]. Available: <https://www.leapmotion.com/product/vr>. [Último acceso: 20 09 2016].
- [47] Wikipedia, «LeapMotion,» [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Leap_Motion. [Último acceso: 15 09 2016].
- [48] Flafla2, «Unity Wii Remote API,» [En línea]. Available: <https://github.com/Flafla2/Unity-Wiimote>. [Último acceso: 05 06 2016].
- [49] «Xbox360Controller en Unity,» [En línea]. Available: <http://wiki.unity3d.com/index.php?title=Xbox360Controller>.
- [50] LeapMotion, «Paquete de desarrollo Orion,» [En línea]. Available: <https://developer.leapmotion.com/orion/>.
- [51] Ø. Strømsvik, «Simplest possible day night cycle in Unity 5,» Twiik.net, [En línea]. Available: <http://twiik.net/articles/simplest-possible-day-night-cycle-in-unity-5>. [Último acceso: 30 11 2016].

FIGURAS

Fig. 1 Evolución del índice de accidentalidad desde el año 1997 al 2015, por sectores.....	5
Fig. 2 Ciclo de vida en BIM.....	11
Fig. 3 Diferencia en el flujo de trabajo entre BIM y 2D CAD (Fuente: Graphisoft)	11
Fig. 4 Virtualis ActiveCube (Fuente: Nuclear AMRC)	16
Fig. 5 Tipos de sensores.....	16
Fig. 6 Dispositivos periféricos.....	17
Fig. 7 Arquitectura de un sistema de Realidad Virtual (Fuente: Basado en Wikipedia)	17
Fig. 8 Estimación de ingresos en la venta de hardware y software de VR. (Fuente: Superdata Research).....	18
Fig. 9 Oculus Rift (Fuente: Oculus)	18
Fig. 10 HMD actuales (Fuente: New Atlas).....	19
Fig. 11 LeapMotion (Fuente: LeapMotion)	20
Fig. 12 Geomagic Touch X (Fuente: Geomagic).....	20
Fig. 13 CyberGlove II y CyberGrasp (Fuente: CyberGlove Systems).....	20
Fig. 14 Curva de aprendizaje	22
Fig. 15 Flujo trabajo de Revit a Unity	28
Fig. 16 Modelo edificio B0 en 3ds Max	29
Fig. 17 Importar estructura a Unity.....	29
Fig. 18 Materiales que tiene la estructura importada incorporados.	30
Fig. 19 Estructura con los materiales aplicados.	30
Fig. 20 Prefab FPC Controller de los Standard Assets de Unity.....	31
Fig. 21 Vista manos prefabricadas con el paquete Orion para Leap Motion.	32
Fig. 22 Vista manos prefabricadas con el paquete Orion para Leap Motion agarrando un cubo.	33

Fig. 23 Diferentes menús implementados	34
Fig. 24 Organización de los elementos del edificio por plantas	34
Fig. 25 Menú seleccionar capa	35
Fig. 26 Diferencias en función de las capas seleccionadas.....	35
Fig. 27 Menú seleccionar planta	36
Fig. 28 Menú para activar la visibilidad de los riesgos presentes.	36
Fig. 29 Collider para marcar los peligros	37
Fig. 30 Mensaje que aparece al entrar en la zona de peligro	38
Fig. 31 Iluminación natural primera planta.	38
Fig. 32 Cambio iluminación simulando el movimiento del sol.....	39
Fig. 33 Iluminación artificial primera planta	39
Fig. 34 Iluminación artificial exterior.....	40
Fig. 35 Iluminación artificial sótano	40
Fig. 36 Habilitar Realidad Virtual en Unity	41
Fig. 37 Situación inicial del caso practico	43
Fig. 38 Situación 2 del caso práctico	44
Fig. 39 Situación 3 del caso práctico	44
Fig. 40 Flujo de trabajo	45
Fig. 41 Vista en planta del modelo practico en Revit.	45
Fig. 42 Vista 3D del modelo practico en Revit.....	46
Fig. 43 Generar colliders para el modelo importado.	46
Fig. 44 Estructura con texturas.....	47
Fig. 45 Estructura con medidas de seguridad.	47
Fig. 46 Introducción movimiento en primera persona.	48
Fig. 47 Visión estereoscópica de la cardboard.....	49
Fig. 48 Interacción con objetos mediante un input dirigido con la mirada.	49
Fig. 49 Configurar canvas de los textos visualizados en Realidad Virtual.	50
Fig. 50 Trigger para desactivar el texto.	50
Fig. 51 Informar situación de la plataforma de descarga.....	51
Fig. 52 Información plataforma descarga.	51
Fig. 53 Trigger construcción del muro.....	52
Fig. 54 Instrucciones construcción muro.	52
Fig. 55 Proceso construcción muro ascensor.	53
Fig. 56 Mensaje aviso para volver al primer piso y avanzar al siguiente día.....	53
Fig. 57 Accionar Día 2 para pasar a la siguiente situación.	53
Fig. 58 Ventana informando el pavimentado de la primera planta.	54
Fig. 59 Mensaje informando de acabar de construir el muro.....	54
Fig. 60 Zona pavimentándose.	55
Fig. 61 Poca visibilidad en la zona de peligro.	55
Fig. 62 Alerta peligro de caída	56
Fig. 63 Situación del peligro indicada por una luz.	56
Fig. 64 Información causa del peligro.	57
Fig. 65 Ventana Build Settings.....	58

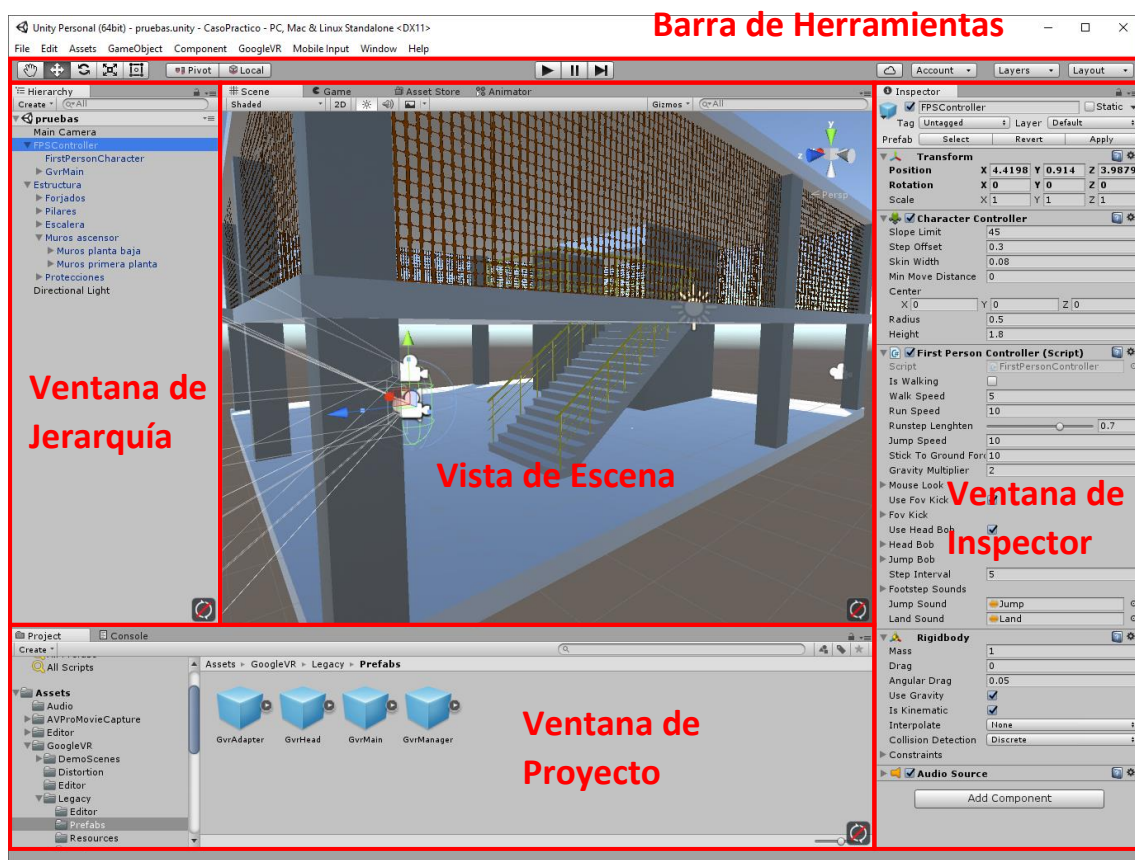
ANEXOS

ANEXO I. Herramientas y características de *Unity* utilizadas

1. Introducción

Unity es un motor de videojuegos multiplataforma, si bien se está aplicando a otros múltiples campos (como el sector de la salud, la formación o también la construcción), por lo que su definición debería evolucionar hacia la de un entorno de tratamiento de escenarios y objetos 3D fotorrealistas. Es compatible con modelos de diferentes formatos y se está convirtiendo en una herramienta habitual para la creación de Permite crear aplicaciones de Realidad Virtual.

2. Interfaz



Ventana de proyecto: Muestra todos los componentes disponibles para ser utilizados en el proyecto: materiales, modelos, audio, hojas de código, que se van utilizando para dar forma a la aplicación. Todos estos componentes son conocidos como *assets*.

Vista de escena: es donde se construye la aplicación distribuyendo los diferentes componentes en el espacio disponible. Todos los componentes que son distribuidos dentro de la escena son conocidos como *GameObjects*.

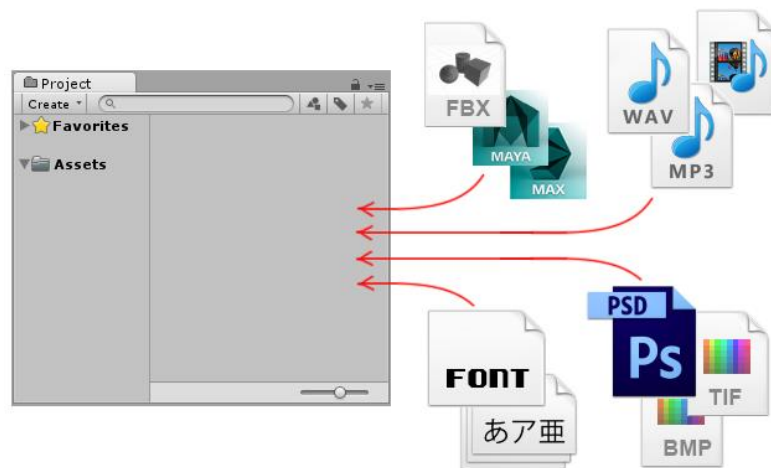
Ventana de jerarquía: se ven organizados jerárquicamente todos los elementos que tenemos en la escena.

Ventana de inspector: permite visualizar y modificar todas las componentes del objeto seleccionado.

Barra de herramientas: proporciona acceso a las herramientas más esenciales para trabajar en la vista de escena y los objetos dentro de esta. También permite simular el funcionamiento de la aplicación, mediante los botones del centro.

3. Assets

Un *asset* representa cualquier archivo que puede ser utilizado en el proyecto. Este puede ser importado, creado fuera de *Unity*, como puede ser un modelo 3D, un archivo de audio, una imagen, o cualquiera de los archivos que soporta *Unity*. Hay otro tipo de *assets* que pueden ser creados dentro de *Unity* como puede ser un *Animator Controller* (controlador animado) o una *Render Texture* (textura renderizada).



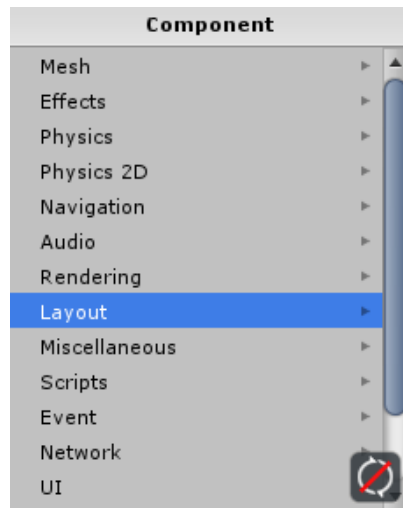
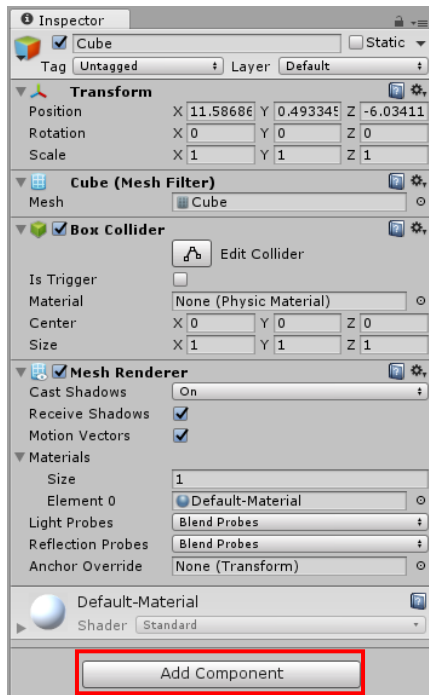
(Fuente: Unity)

Unity puede trabajar con diferentes modelos 3D importados, pero también permite crear diferentes objetos primitivos, estos son: cubo, esfera, capsula, cilindro, plano y quad. Estos nos pueden acabar de dar forma a nuestra aplicación, dar diferentes funcionalidades y ayudar en la construcción del proyecto.

Las escenas contienen los objetos que forman la aplicación. Pueden ser usadas para crear diferentes partes del programa como son los menús, introducciones a la aplicación y el escenario donde situaremos nuestros modelos.

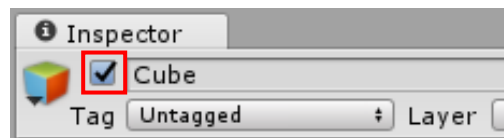
Cuando queramos construir el proyecto deberemos indicar cuáles serán las escenas que incluiremos y como estarán conectadas entre sí.

Los *GameObjects* son todos los elementos que están situados dentro de la escena. Estos funcionan como contenedores para las componentes. Según que componentes incorporemos a un *GameObject* tendrá una funcionalidad diferente. Por ejemplo, cuando nosotros creamos un cubo en *Unity* el programa nos proporciona un *GameObject* con las componentes necesarias para definir ese cubo, pero nosotros podríamos cambiar estas componentes o añadirle otras para que actuara como nosotros queremos. Para añadir las componentes, las seleccionamos desde la pestaña *Add Component* o desde los *assets* de la ventana de proyecto.



La componente *transform* es la única que comparten todos los *GameObjects*. Determina la posición, rotación y escala de cada objeto en la escena.

Para desactivar un objeto que tenemos en la escena se hace desactivando la pestaña que tiene al lado del nombre en la ventana del inspector:

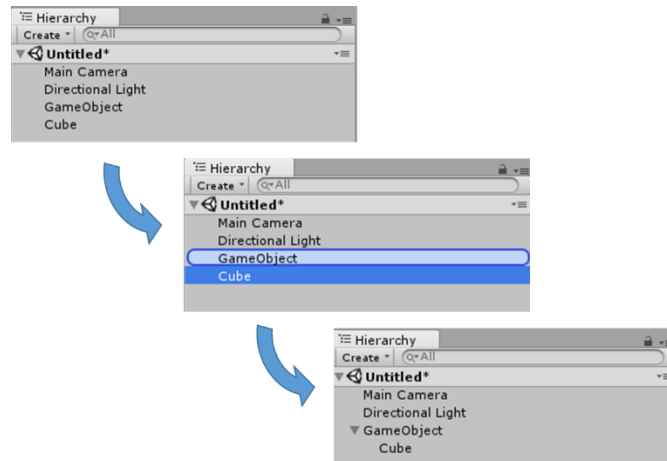


4. Prefabs

Permiten almacenar un objeto que hemos creado en la escena con todas sus componentes y características fijadas, como un *asset*. De modo que podemos volverlo a insertar cuando nos convenga ya sea en este proyecto o en otro. Para crearlo arrastramos el objeto se quiere guardar como *prefab* en la ventana de proyecto.

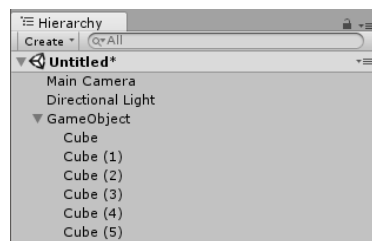
5. Jerarquía

En la ventana de jerarquía, podemos hacer que un objeto sea “hijo” de otro. Para ello arrastramos el objeto que queremos que sea el hijo encima del nombre del objeto que será el “padre”. Con esto conseguimos que la componente *transform* sea relativa al objeto “padre”, de modo que, si movemos el objeto “padre” el objeto hijo, seguirá a la misma distancia y orientación respecto al objeto “padre”.



Un ejemplo de esta acción se realiza en el movimiento en primera persona: tenemos que asociar una cámara que sea “hijo” del objeto que actuara de controlador. De este modo cuando movamos el controlador la cámara seguirá siempre a la misma posición respecto de este.

Otro uso es para clasificar los elementos. Mediante la creación de objetos vacíos, podemos asociar una serie de objetos relacionados para tenerlos organizados.



6. Elementos gráficos

Unity proporciona una serie de elementos gráficos con los que puedes conseguir una gran fidelidad visual con un buen poder de renderizado. Ofrece diferentes posibilidades de iluminación y diferentes maneras de aplicar texturas para dar realismo a las escenas. Para el propósito de este trabajo no profundizaremos mucho en este aspecto. Los elementos gráficos básicos que utilizaremos son:

6.1. Iluminación

El sombreado de un objeto 3D se calcula a partir de la intensidad, dirección y color de la luz que incide sobre este. Esto depende de los objeto tipo *Light* que tenemos en la escena. El color base y la intensidad están configurados de la misma manera para todas las luces, pero la dirección depende del tipo de luz que estemos usando. La intensidad también puede variar con la distancia. Los cuatro tipos de luz disponible son:

Point Lights o puntos de luz, se encuentran en un punto en el espacio y emiten luz en todas las direcciones por igual disminuyendo la intensidad hasta la distancia establecida. Adecuados para simular lámparas.

Spot lights Similar al *point light* pero la dirección no es en todas direcciones, sino que está definida por un ángulo determinado, formando un cono, el centro de este indica la dirección de avance de la luz.

Directional lights, no tienen una posición identificable dentro de la escena, pero todos los elementos de esta son iluminados desde la misma dirección por este objeto. La intensidad es constante y no disminuye con la distancia. Pueden simular la luz del sol.

Area lights, definidos por un rectángulo en el espacio. La luz se emite en todas las direcciones pero solo por una de las superficies del rectángulo.

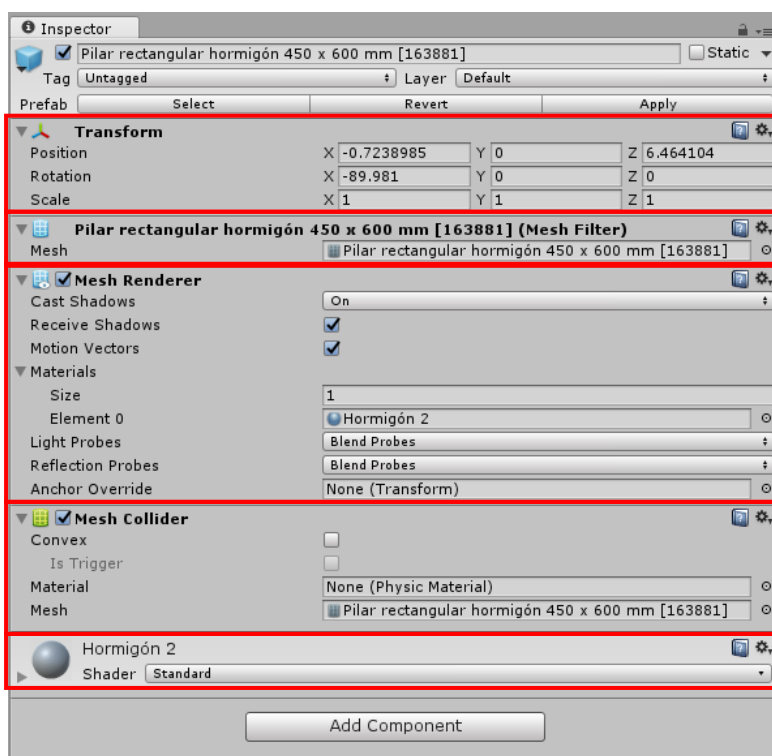
6.2. Cámaras

Sirven para capturar la vista que tendremos nosotros cuando ejecutemos la aplicación y como veremos el entorno. Se puede incluir diferentes cámaras para captar las vistas que nos interesan. Tienen diferentes posibilidades para determinar cómo serán las vistas como la distancia y el ángulo de visión.

6.3. Mallas

Las mallas representan una gran parte de los mundos 3D, todos los modelos están representados por estas. *Unity* no tiene herramientas de modelado, pero tiene compatibilidad con diferentes aplicaciones 3D. Se pueden importar mallas desde dos tipos de archivos principales:

- Formatos de archivo 3D exportados: *.FBX*, *.dae*, *.3DS*, *.dfx* y *.obj*.
- Archivos propios de aplicación 3D: *Max*, *Maya*, *Blender*, *Cinema4D*, *Modo*, *Lightwave* *Cheetah3D*.



Componente Transform

Mesh Filter

Mesh Renderer

Mesh Collider

Material

El *Mesh Filter* es la referencia a la malla que va a ser renderizada. La malla está localizada dentro del directorio *Assets* dentro de la carpeta de proyecto. Cuando introducimos un modelo dentro de *Unity* estas se generan automáticamente. El *Mesh Filter* pasa la malla desde los *Assets* al *Mesh Renderer* para ser visualizada en la pantalla.

El *Mesh Renderer* obtiene la geometría desde el *Mesh Filter* y la renderiza en la posición definida por la componente *Transform* del objeto.

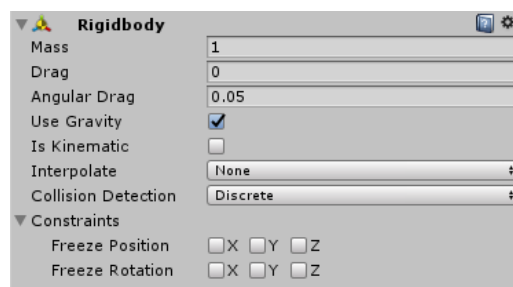
Los materiales definen cómo la superficie debería ser renderizada, incluyendo referencias a texturas utilizadas (imágenes *bitmap*), información del *tiling* (suelo de baldosas), tintes de color y más. Los *shaders* son cálculos matemáticos y algoritmos que calculan el color de cada pixel renderizado, basándose en la iluminación y la configuración del Material.

7. Física

Para tener un comportamiento físico convincente, un objeto debe acelerar adecuadamente, ser afectado por las colisiones, gravedad y otras fuerzas. *Unity* incorpora un motor de física integrado. Proporciona componentes que manejan la simulación física. Las dos principales componentes que añadiremos a los objetos para que sean afectados por las físicas son: *Rigidbody* y *Colliders*.

7.1. Rigidbody

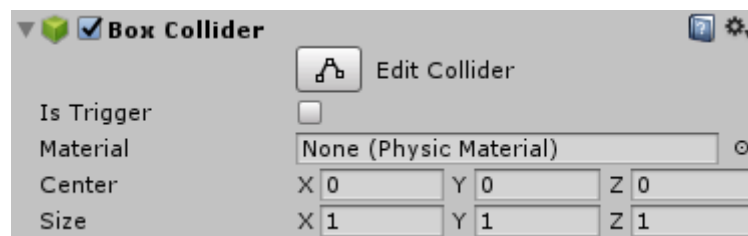
Son el componente principal que permite a un objeto tener un comportamiento físico. Un objeto con un *rigidbody* responderá inmediatamente a la gravedad. Para responder a las colisiones que reciba, necesita un *collider*.



7.2. Collider

Definen la forma de un objeto para propósito de colisiones físicas. Son invisibles, y no es necesario que tengan la misma forma que la malla del objeto. A menudo una simplificación no tiene diferencias apreciables y es más eficiente a nivel de procesador. Estas simplificaciones son en forma de cubo, esfera y capsula y es posible redimensionarlos. También es posible utilizar la malla del objeto como *collider* (Fig. 4)

Se encargan de detectar las colisiones entre los objetos que tienen un *colliders* como componentes.



Si marcamos la pestaña *Is Trigger*, el objeto no se comportará como un objeto físico: lo podremos atravesar. No obstante, las colisiones se seguirán detectando, por lo que podemos incorporar eventos mediante código cuando un objeto entre dentro de un *trigger*.

8. Programación

La programación de código es uno de los aspectos más importantes en el desarrollo de la aplicación. Para que la aplicación responda a las entradas del usuario y asegurarse que todos los eventos se ejecutan en el orden adecuado. También pueden ser usados para crear efectos gráficos o controlar el comportamiento de los objetos.

Se añaden a los objetos como componentes y están guardados en el directorio de *Assets* del proyecto.

El lenguaje que puede ser utilizado es C# o Javascript.

8.1. Event System

Es una manera de enviar eventos a objetos de la aplicación mediante inputs introducidos por el usuario. Está diseñado para gestionar y facilitar la comunicación entre los diferentes módulos de inputs. Las principales funciones que tiene son:

- Gestionar que objeto está seleccionado.
- Gestionar que módulo de input está siendo usado.
- Gestionar *Raycasting* (si es necesario)
- Actualizar todos los módulos de input según sea requerido.

Un módulo de inputs, es donde está la lógica principal de cómo un *Event System* debe comportarse. Son usados para:

- Manejar inputs
- Gestionar el estado del evento
- Enviar eventos a los objetos de la escena.

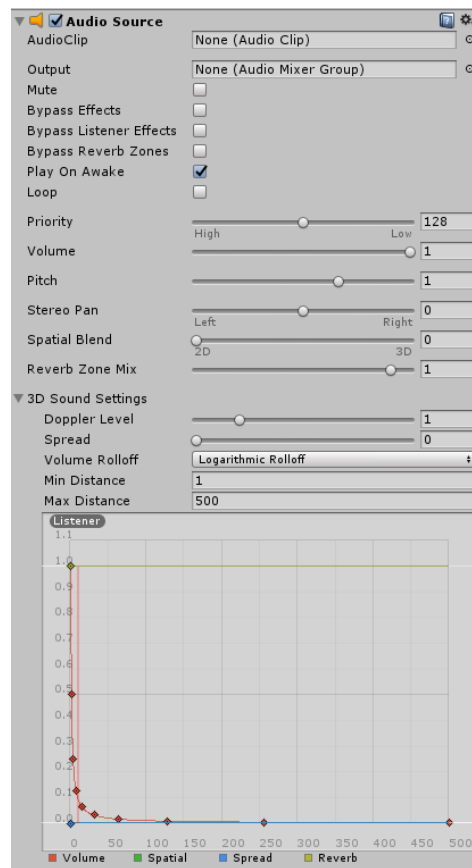
8.1.1. Raycasters

Son usados para enviar eventos en calculando que objeto está el puntero señalando (similar a enviar eventos con un ratón) normalmente son componentes de una cámara, enviando eventos en función donde este enfocada.

9. Audio

El audio se puede reproducir en un espacio 3D con muchas posibilidades de caracterización para adaptarlo a las necesidades. SE basa en componentes *Source* y *Listener*.

La componente *source* se le añade un archivo de audio. Este se encarga de reproducir el audio. Se puede configurar sus propiedades en función de la distancia con el *Listener*



El audio *listener* actúa como un micrófono. Se encarga de recibir input de cualquier audio *source* de la escena y lo reproduce el sonido a través de los alta-voces.

Interfaz de usuario

Para crear la interfaz de usuario nos ayudamos de las herramientas UI. Con estas podemos insertar imágenes, textos, o menús. Todos los elementos UI que insertamos deben estar dentro de un *canvas*. Este sería el plano donde se situarán todos los elementos UI.

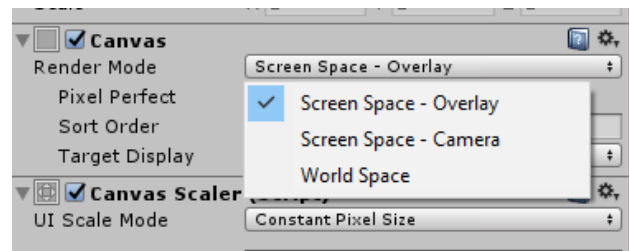
El orden de pintado será el mismo en que aparecen en la ventana de jerarquía.

10. Interfaz de usuario (UI)

EL sistema UI facilita la creación de interfaz de usuario con una serie de herramientas. Para construir cualquier interfaz, es necesario la presencia de un *canvas*. En este se situarían las diferentes componentes.

El *canvas* tiene tres tipos posibles de renderización:

- Screen Space – Overlay: el *canvas* se es escalado directamente para encajar en la medida de la pantalla, y es renderizado directamente sin tener en cuenta la escena ni la cámara.
- Screen Space – Camera: el *canvas* es renderizado como si estuviera en un plano a una cierta distancia de la cámara dada.
- World Space: renderiza la interfaz de usuario en un plano dentro de la escena. A diferencia del Screen Space – Camera, no tiene que estar enfocado a la cámara.

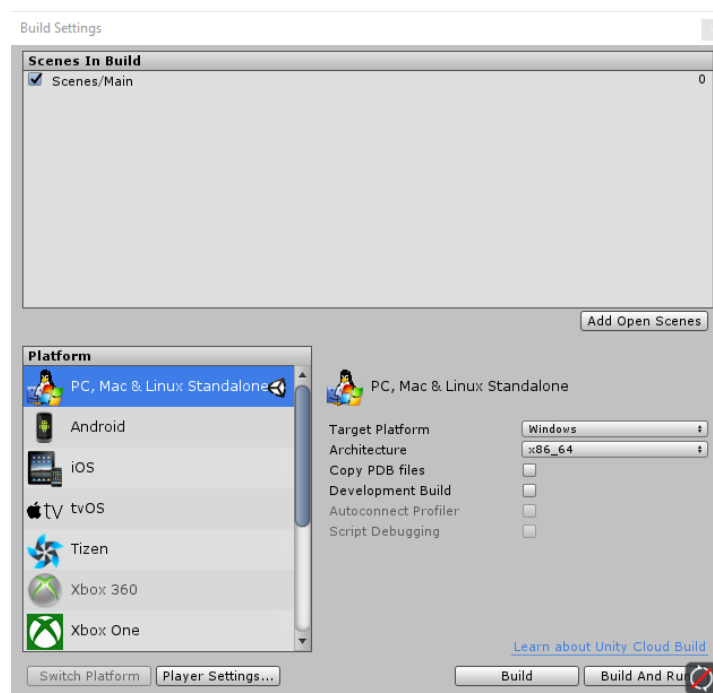


Unity ofrece diferentes componentes para diseñar las interfaces como queramos. Se pueden dividir en dos clases:

- Componentes visuales: textos e imágenes
- Componentes interactivos: Botones, Toggles, sliders, scrollbars, etc.

11. Construcción de la aplicación

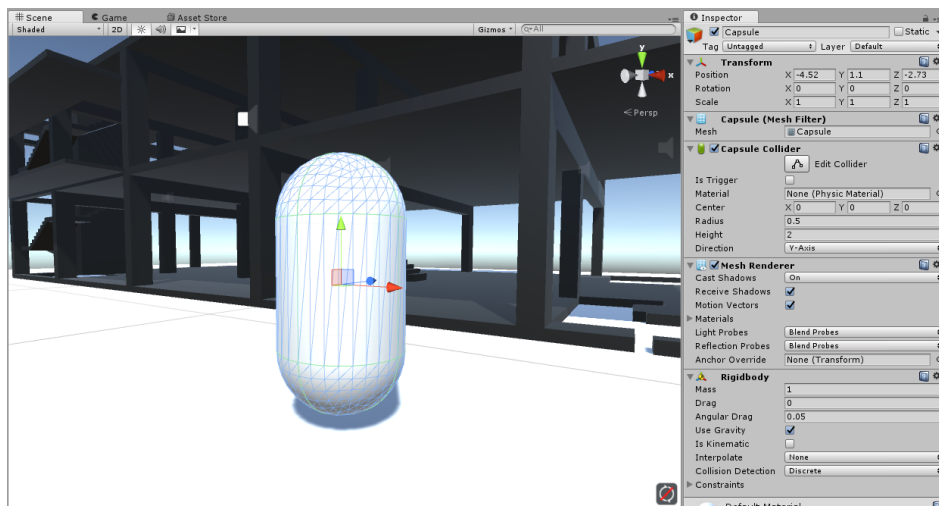
Una vez está finalizado el desarrollo, para construir la aplicación es necesario establecer que escenas serán utilizadas y cuál es la plataforma de destino, donde será utilizada. Estas características se definen en la ventana *Build Settings* (*File > Build Settings*). Una vez está configurado correctamente se marca el botón *Build* y el programa creará los archivos necesarios.



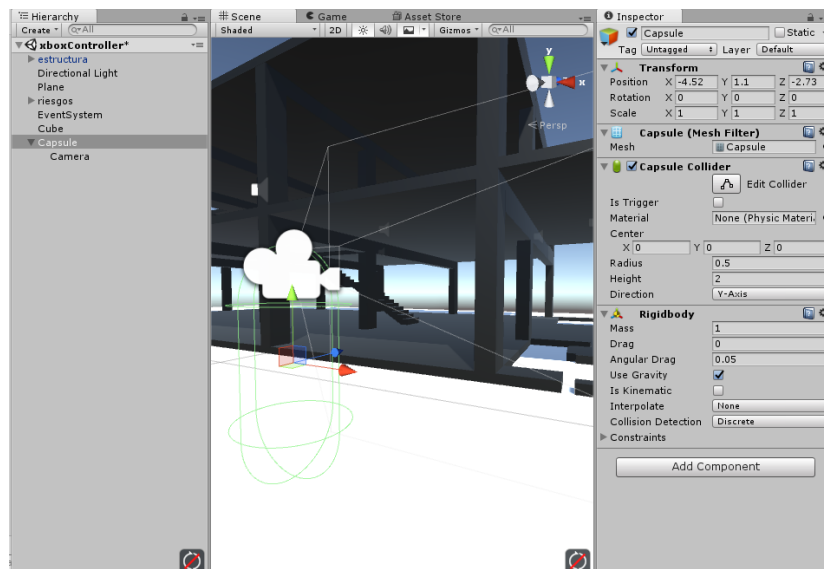
ANEXO II. Recrear un movimiento en primera persona en *Unity*

Para ver el proceso necesario para recrear un movimiento en primera persona, se creó un movimiento en primera persona simplificado. Para ello se siguió un tutorial¹² donde se describían los pasos necesarios.

Primero creamos una capsula para simular el espacio que ocupa la persona, simular las colisiones con el entorno e incorporarle una cámara para simular la vista. La capsula ya lleva incorporado un *collider* para detectar las colisiones. También le añadimos un *rigidbody* para que le afecten las físicas.



Le añadimos una cámara y le quitamos la malla de renderizado para quedarnos solo con el *collider* y el *rigidbody*.



Para introducirle el movimiento, lo hacemos mediante código.

Añadimos el siguiente script a nuestro personaje.

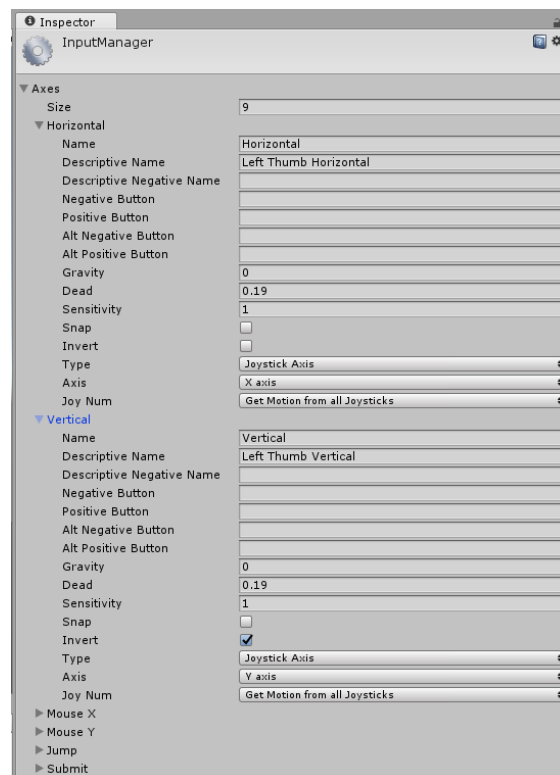
¹² How to construct a simple First Person Controller with Camera Mouse Look in Unity 5 (<https://www.youtube.com/watch?v=blo039OzUZc>)

```

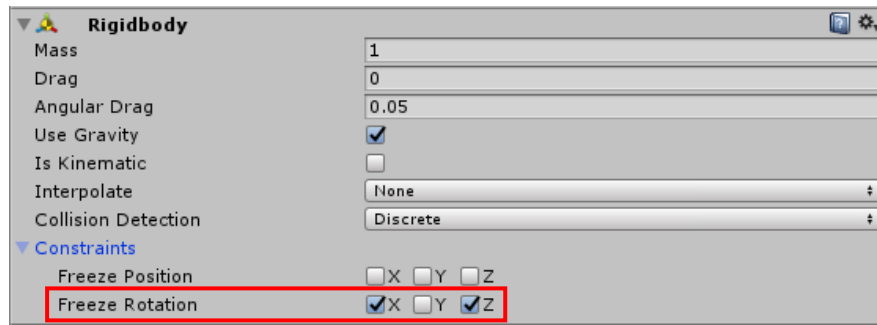
1 using UnityEngine;
2 using System.Collections;
3
4 public class FPCcontroller : MonoBehaviour {
5
6     public float speed = 5.0f;
7
8     // Use this for initialization
9     void Start () {
10
11         Cursor.lockState = CursorLockMode.Locked;
12
13     }
14
15     // Update is called once per frame
16     void Update () {
17
18         float verticalMovement = Input.GetAxis ("Vertical") * speed;
19         float horizontalMovement = Input.GetAxis("Horizontal") * speed;
20
21         verticalMovement *= Time.deltaTime;
22         horizontalMovement *= Time.deltaTime;
23
24         transform.Translate (horizontalMovement, 0, verticalMovement);
25
26         if(Input.GetKeyDown("escape")){
27
28             Cursor.lockState = CursorLockMode.None;
29         }
30     }
31 }
32 }

```

Con este código nos podemos mover por nuestra escena, mediante los movimientos de entrada vertical y horizontal que hayamos asignado a los *axes* (*Edit> Project Settings> Input*).



Al movernos, el rozamiento con el suelo hace girar el personaje en direcciones que no queremos. Para evitarlo, en el *rigidbody* del personaje, congelamos el giro en los ejes X y Z.



Con esta configuración podemos movernos, pero falta poder controlar la vista hacia donde queremos. Para esta acción necesitamos añadirle el siguiente código a la cámara:

```

1 using UnityEngine;
2 using System.Collections;
3
4 public class cameraLook : MonoBehaviour {
5
6     Vector2 directionLook;
7     Vector2 smoothView;
8     public float sensitivity = 5.0f;
9     public float smoothing = 2.0f;
10
11     GameObject character;
12
13     void Start () {
14         character = this.transform.parent.gameObject;
15     }
16
17     void Update () {
18
19         var md = new Vector2 (Input.GetAxisRaw ("Mouse X"), Input.GetAxisRaw ("Mouse Y"));
20
21         md = Vector2.Scale (md, new Vector2 (sensitivity * smoothing, sensitivity * smoothing));
22         smoothView.x = Mathf.Lerp (smoothView.x, md.x, 1f / smoothing);
23         smoothView.y = Mathf.Lerp (smoothView.y, md.y, 1f / smoothing);
24         directionLook += smoothView;
25
26         transform.localRotation = Quaternion.AngleAxis (-directionLook.y, Vector3.right);
27         character.transform.localRotation = Quaternion.AngleAxis (directionLook.x, character.transform.up);
28
29     }
30 }
31
32

```

ANEXO III. Configuración controlador Xbox en *Unity*

Para que *Unity* detecte los botones y los axis que accionamos con el controlador, previamente deben configurarse en la ventana de inputs (*Edit > Project Settings > Inputs*). Cada botón y axis tiene un número asociado. En la ventana de inputs se puede definir un nombre para ese botón con el número determinado. Posteriormente se puede atribuirle acciones mediante código.

Para que el ordenador detecte el controlador, debe tener los drivers instalados. En el caso de *Windows 10* ya los tiene instalados al ser un controlador de la misma compañía. Los números correspondientes a la configuración en *Unity* del controlador en un sistema operativo *Windows* son los siguientes:

- Números correspondientes a los axis del mando:

Axis Name	Mapped Axis Number
Left Stick X Axis	x axis
Left Stick Y Axis	y axis
Right Stick X Axis	4
Right Stick Y Axis	5
D-Pad X Axis	6
D-Pad Y Axis	7
Triggers	3
Left Trigger	9
Right Trigger	10

- Números correspondientes a los botones del mando:

Button Name	Mapped Button Number
A Button	0
B Button	1
X Button	2
Y Button	3
Left Bumper	4
Right Bumper	5
Back Button	6
Start Button	7
Left Stick Click	8
Right Stick Click	9

Mando de la Xbox con los números correspondientes a cada botón i axis para configurarlo en Unity:



Configuración de un input accionado por un botón:

▼ Jump	
Name	Jump
Descriptive Name	
Descriptive Negative N	
Negative Button	
Positive Button	joystick button 0
Alt Negative Button	
Alt Positive Button	
Gravity	1000
Dead	0.001
Sensitivity	1000
Snap	<input type="checkbox"/>
Invert	<input type="checkbox"/>
Type	Key or Mouse Button
Axis	X axis
Joy Num	Get Motion from all Joysticks

En este caso al accionar el botón "A" que tiene asociado el número 0, el controlador salta.

Ejemplos de los datos introducidos en la ventana de input para configurar un axis tipo joystick:

▼ Mouse X	
Name	Mouse X
Descriptive Name	
Descriptive Negative Name	
Negative Button	
Positive Button	
Alt Negative Button	
Alt Positive Button	
Gravity	0
Dead	0.19
Sensitivity	1
Snap	<input type="checkbox"/>
Invert	<input type="checkbox"/>
Type	Joystick Axis
Axis	4th axis (Joysticks)
Joy Num	Get Motion from all Joysticks
► Mouse Y	
▼ Mouse Y	
Name	Mouse Y
Descriptive Name	
Descriptive Negative Name	
Negative Button	
Positive Button	
Alt Negative Button	
Alt Positive Button	
Gravity	0
Dead	0.19
Sensitivity	1
Snap	<input type="checkbox"/>
Invert	<input checked="" type="checkbox"/>
Type	Joystick Axis
Axis	5th axis (Joysticks)
Joy Num	Get Motion from all Joysticks

En este caso está configurado para controlar la vista de la cámara. Es útil en la construcción de la aplicación para ir haciendo pruebas. En el momento de construir la aplicación en Realidad Virtual estos inputs son introducidos por el movimiento de la cabeza. Este es detectado por las gafas de Realidad Virtual utilizadas.

ANEXO IV. Detalles técnicos del ordenador utilizado

Las diferentes pruebas realizadas en el trabajo con un ordenador Acer Aspire V15 V3-572G-72LR. Este tiene las siguientes características:

Marca	Acer
Series	V3-572G
Peso del producto	2,6 Kg
Dimensiones del producto	38,1 x 25,7 x 3 cm
Pilas:	1 lones de litio necesaria(s), incluida(s)
Número de modelo del producto	NX.MPYEB.008
Color	Plateado
Factor de forma	Concha
Dimensión de la pantalla	15.6 pulgadas
Resolución de pantalla	1366x768
Máxima resolución de pantalla	1366x768
Fabricante del procesador	Intel
Tipo de procesador	Core i7-4510U
Velocidad del procesador	2 GHz
Toma del procesador	BGA1168
Número de procesadores	2
Capacidad de la memoria RAM	8192 MB
Tecnología de la memoria	DDR3-SDRAM
Tipo de memoria del ordenador	DDR3 SDRAM
Memoria máxima compatible	16 GB
Capacidad del disco duro	1 TB
Descripción del disco duro	HHD
Interfaz del disco duro	Serial ATA
Detalles de audio	1
Coprocesador gráfico	GT840
Descripción de la tarjeta gráfica	NVIDIA GeForce 840
Capacidad de la memoria RAM	2048 MB
Tipo de conexión inalámbrica	802.11b, 802.11g, 802.11n
Número de puertos USB 2.0	2
Número de puertos USB 3.0	1
Número de puertos HDMI	1

Número de puertos ethernet	1
Tipo de disco óptico	DVD±RW
Sistema operativo	Windows 10
Descripción de la batería	Ión de litio
Contenido de energía de la batería de litio	2500 milliampere_hour
Embalaje de la batería de litio	Pilas incluidas en el paquete
Peso de la batería de litio	20 gramos

ANEXO V. Código utilizado en *Unity*

Pruebas para explorar las posibilidades de la Realidad Virtual en BIM

Código para controlar el comportamiento de los menús.

```
using UnityEngine;
using System.Collections;
using UnityEngine.UI;
using UnityEngine.EventSystems;
using UnityStandardAssets.Characters.FirstPerson;

public class PauseMode : MonoBehaviour {

    public Transform canvas;
    public Transform menuPausa;
    public Transform menuSeleccionarCapa;
    public Transform menuSeleccionarPlanta;
    public Transform menuRiesgos;
    public Transform player;
    public GameObject FPC;

    public Selectable menuPausaFirstButton;           //primer elemento a
    seleccionar al entrar al menú para poder moverse con mando.
    public Selectable menuCapasFirstButton;
    public Selectable menuPlantasFirstButton;
    public Selectable menuRiesgosFirstButton;

    void Start () {
        FPC.GetComponent<GameObject> ();
    }

    // Update is called once per frame
    void Update () {

        if (Input.GetButtonDown ("Start"))
        {
            Pause ();
        }
    }

    public void Pause(){

        if (canvas.gameObject.activeInHierarchy == false)

        {
            if (menuPausa.gameObject.activeInHierarchy == false)
            {
                menuPausa.gameObject.SetActive (true);
                menuSeleccionarCapa.gameObject.SetActive (false);
                menuSeleccionarPlanta.gameObject.SetActive (false);
                menuRiesgos.gameObject.SetActive (false);
            }

            canvas.gameObject.SetActive (true);
            Time.timeScale = 0;
        }
    }
}
```

```

false;

        player.GetComponent<FirstPersonController> ().enabled =
        menuPausaFirstButton.Select ();

    }
    else
    {
        canvas.gameObject.SetActive (false);
        Time.timeScale = 1;
        player.GetComponent<FirstPersonController> ().enabled = true;
    }
}

public void SeleccionarCapa (bool Open)
{
    if (Open)
    {
        menuSeleccionarCapa.gameObject.SetActive (true);
        menuPausa.gameObject.SetActive (false);
        menuCapasFirstButton.Select ();
    }
    if (!Open)
    {
        menuSeleccionarCapa.gameObject.SetActive (false);
        menuPausa.gameObject.SetActive (true);
        menuPausaFirstButton.Select ();
    }
}

public void SeleccionarPlanta (bool Open)
{
    if (Open)
    {
        menuSeleccionarPlanta.gameObject.SetActive (true);
        menuPausa.gameObject.SetActive (false);
        menuPlantasFirstButton.Select ();
    }
    if (!Open)
    {
        menuSeleccionarPlanta.gameObject.SetActive (false);
        menuPausa.gameObject.SetActive (true);
        menuPausaFirstButton.Select ();
    }
}

public void Riesgos (bool Open)
{
    if (Open)
    {
        menuRiesgos.gameObject.SetActive (true);
        menuPausa.gameObject.SetActive (false);
        menuRiesgosFirstButton.Select();
    }
    if (!Open)
    {
        menuRiesgos.gameObject.SetActive (false);
        menuPausa.gameObject.SetActive (true);
        menuRiesgosFirstButton.Select();
    }
}
}

```

```

// "Seleccionar planta" el FPC aparece en la planta seleccionada

public void SeleccionarPlanta (int planta)
{
    switch (planta)
    {
        case 1:          //planta 1
            FPC.transform.position = new Vector3 (2.197f, 15.8f, 22.36f);
            break;
        case 2:          //planta 2
            FPC.transform.position = new Vector3 (2.5f, 19.79f, 21f);
            break;
        case 3:          //Planta 3
            FPC.transform.position = new Vector3 (2.5f, 23.8f, 21.31f);
            break;
        case 4:          //Planta 4
            FPC.transform.position = new Vector3 (4.5f, 27.8f, 14f);
            break;
        case 5:          //Planta baja
            FPC.transform.position = new Vector3 (5.4f, 12f, 8.3f);
            break;
        case 6:          //Planta sotano
            FPC.transform.position = new Vector3 (6.4f, 4.1f, 10.3f);
            break;
        default:
            Debug.Log ("No funciona");
            break;
    }
}
}

```

Código utilizado para la creación de la aplicación para la formación

En este caso muchas de las acciones a realizar, han sido definidas mediante el *Event System*, por lo que hay poco código realizado. Esas mismas instrucciones pueden realizarse mediante código.

Código para activar y desactivar los textos para dar instrucciones

```

using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;
using UnityEngine.EventSystems;
using System.Collections;

public class triggerTextoSubida : MonoBehaviour
{
    //public Text peligroCaida;
    public Text textoSubida;
    public Text textoSubidaDia2;
    public Text textoPeligro;

    void Start()
    {

```

```

        ActivarTextoSubida(true);
        ActivarTextoPeligro(false);
    }
    void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        ActivarTextoSubida(false);

        if (textoSubidaDia2.IsActive())
        {
            ActivarTextoSubidaDia2(false);
        }
    }

    void ActivarTextoSubida(bool activado)
    {
        textoSubida.enabled = activado;
    }

    void ActivarTextoSubidaDia2(bool activado)
    {
        textoSubidaDia2.enabled = activado;
    }
    void ActivarTextoPeligro(bool activado)
    {
        textoPeligro.enabled = activado;
    }
}

```

Código para activar la alerta de riesgo de caída.

```

using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;
using System.Collections;

public class trigger : MonoBehaviour {

    public Text peligroCaída;
    private AudioSource triggerAudio;

    void Start() {
        triggerAudio = GetComponent<AudioSource> ();
        ActivarAlertaCaída(false);
    }
    void OnTriggerEnter(Collider other){

        print("Riesgo caída");
        triggerAudio.Play();
        ActivarAlertaCaída(true);
        Handheld.Vibrate();
    }

    void OnTriggerExit(Collider other) {

```

```

        triggerAudio.Stop ();
        ActivarAlertaCaida(false);
    }

    void ActivarAlertaCaida(bool activado){
        peligroCaida.enabled = activado;
    }

}

```

Código para activar la alerta cuando se entra en riesgo. Activando una luz roja, un texto de aviso y un audio.

```

using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;
using UnityEngine.EventSystems;
using System.Collections;

public class alertaPeligro : MonoBehaviour {

    private AudioSource triggerAudio;
    Light pointLight;
    public Text textoPeligro;

    // Use this for initialization
    void Start () {
        triggerAudio = GetComponent<AudioSource>();
        pointLight = GetComponent<Light>();
        ActivarAlertaCaida(false);
    }

    void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        triggerAudio.Play();
        ActivarAlertaCaida(true);
        pointLight.intensity = 4;
    }

    void OnTriggerExit(Collider other)
    {
        triggerAudio.Stop();
        ActivarAlertaCaida(false);
    }

    void ActivarAlertaCaida(bool activado)
    {
        textoPeligro.enabled = activado;
    }
}

```

